



# ВЕСТНИК НИЖНЕВАРТОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА



Bulletin Of Nizhnevartovsk State University

Журнал издается с 2008 года

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-55479 от 25 сентября 2013 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ

- А.П. Головки, В.Н. Лапин*  
Репрезентативно-ролевая модель содержимого веб-страницы..... 3
- Н.П. Дмитриев*  
Оценка нормы производной комплекснозначной функции  
с выпуклой областью изменения производной второго порядка ..... 15
- Т.Б. Казиахмедов*  
Фрактальный анализ и решение задач для выявления  
особенностей временных рядов при диагностике систем ..... 20
- А.А. Копыльцов*  
Обобщенный алгоритм обработки слабо формализованной информации и его приложения ..... 27
- А.С. Трунов, Л.И. Воронова, В.И. Воронов*  
Разработка параллельного алгоритма для информационно-исследовательской  
системы «MD-SLAG-MELT» на основе технологии CUDA ..... 37
- О.В. Шульгин*  
Общая постановка задач анализа и синтеза организационных систем ..... 45

### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ

- А.С. Кривоногова, Н.А. Белоногова, А.Р. Бирман*  
Теоретическое обоснование взаимосвязи процесса глубокого  
уплотнения древесины и эксплуатационных характеристик ..... 54
- А.А. Пурецкий, С.Н. Бутова, С.Ю. Солдатова*  
Разработка майонезного соуса с добавлением облепихового масла ..... 61

### БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

- А.В. Копыльцов*  
Моделирование транспорта кислорода в организме человека ..... 67
- И.А. Погоньшева, Д.А. Погоньшев*  
Факторы риска снижения устойчивости к кислородной  
недостаточности у студентов в условиях Среднего Приобья ..... 78
- И.Ю. Усманов, Е.С. Овечкина, Р.И. Шаяхметова*  
Распространение влияния нефтяного шлама ..... 84

### Главный редактор

**Горлов С.И.**, доктор физико-математических наук, профессор  
(г. Нижневартовск)

### Заместители главного редактора

**Карпов А.К.**, кандидат филологических наук, профессор  
(г. Нижневартовск)

**Коричко А.В.**, кандидат педагогических наук, доцент  
(г. Нижневартовск)

### Ответственные редакторы

**Игнатьев М.Б.**, доктор технических наук, профессор  
(г. Санкт-Петербург)

**Соколов С.Н.**, доктор географических наук, доцент  
(г. Нижневартовск)

### Секретарь

**Казиахмедов Т.Б.**, кандидат педагогических наук, доцент  
(г. Нижневартовск)

**Скоробогатова О.Н.**, кандидат биологических наук  
(г. Нижневартовск)

### Члены редакционной коллегии

**Абрамов А.В.**, доктор педагогических наук, профессор  
(г. Нижневартовск)

**Бурханов Р.А.**, доктор философских наук, профессор  
(г. Нижневартовск)

**Ваграменко Я.А.**, доктор технических наук, профессор (г. Москва)

**Ерохин В.Н.**, доктор исторических наук, доцент  
(г. Нижневартовск)

**Ибрагимова Л.А.**, доктор педагогических наук, профессор  
(г. Нижневартовск)

**Grabowska Magdalena**, доктор экономики (Ph.D)  
(г. Плоцк, Польша)

**Kludacz Magdalena**, доктор экономики (Ph.D)  
(г. Плоцк, Польша)

**Krzetowska Agnieszka**, доктор экономики (Ph.D) (г. Плоцк, Польша)

**Кулагин А.Ю.**, доктор биологических наук, профессор (г. Уфа)

**Култышева О.М.**, доктор филологических наук, доцент  
(г. Нижневартовск)

**Нурбеков Б.Ж.**, доктор педагогических наук, профессор  
(г. Астана, Республика Казахстан)

**Михайлова О.Ю.**, доктор психологических наук, профессор  
(г. Нижневартовск)

**Медведев С.С.**, доктор биологических наук, профессор  
(г. Санкт-Петербург)

**Рянская Э.М.**, доктор филологических наук, доцент  
(г. Нижневартовск)

**Солодкин Я.Г.**, доктор исторических наук, профессор  
(г. Нижневартовск)

**Усманов И.Ю.**, доктор биологических наук, профессор  
(г. Нижневартовск)

**Цысь В.В.**, доктор исторических наук, доцент  
(г. Нижневартовск)

### Editor-in-Chief

**Gorlov S.I.**, Doctor of Physics and Mathematics, Professor  
(Nizhnevartovsk)

### Deputy Editors

**Karpov A.K.**, Candidate of Philological Sciences, Professor  
(Nizhnevartovsk)

**Korichko A.V.**, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor  
(Nizhnevartovsk)

### Executive editors

**Ignatyev M.B.**, Doctor of Technical Sciences, Professor  
(Saint Petersburg)

**Sokolov S.N.**, Doctor of Geographical Sciences, Associate Professor  
(Nizhnevartovsk)

### Secretary

**Kaziahmedov T.B.**, Candidate of Pedagogical Sciences,  
Associate Professor (Nizhnevartovsk)

**Skorobogatova O.N.**, Candidate of Biological Sciences,  
(Nizhnevartovsk)

### Editorial Board

**Abramov A.V.**, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor  
(Nizhnevartovsk)

**Burkhanov R.A.**, Doctor of Philosophical Sciences, Professor  
(Nizhnevartovsk)

**Vagramenko Ya.A.**, Doctor of Technical Sciences, Professor (Moscow)

**Erokhin V.N.**, Doctor of Historical Sciences, Associate Professor  
(Nizhnevartovsk)

**Ibragimova L.A.**, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor  
(Nizhnevartovsk)

**Grabowska Magdalena**, Ph.D. in Economics  
(Plock, Poland)

**Kludacz Magdalena**, Ph.D. in Economics (Plock, Poland)

**Krzetowska Agnieszka**, Ph.D. in Economics (Plock, Poland)

**Kulagin A.Yu.**, Doctor of Biological Sciences, Professor (Ufa)

**Kultyysheva O.M.**, Doctor of Philological Sciences, Associate  
Professor (Nizhnevartovsk)

**Nurbekov B.Zh.**, Doctor of Pedagogical Sciences, Professor  
(Astana, Republic of Kazakhstan)

**Mikhailova O.Yu.**, Doctor of Psychological Sciences, Professor  
(Nizhnevartovsk)

**Medvedev S.S.**, Doctor of Biological Sciences, Professor  
(Saint Petersburg)

**Ryanskaya E.M.**, Doctor of Philological Sciences, Associate Professor  
(Nizhnevartovsk)

**Solodkin Ya.G.**, Doctor of Historical Sciences, Professor  
(Nizhnevartovsk)

**Usmanov I.Yu.**, Doctor of Biological Sciences, Professor  
(Nizhnevartovsk)

**Tsys V.V.**, Doctor of Historical Sciences, Associate Professor  
(Nizhnevartovsk)

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-55479 от 25 сентября 2013 г.

Журнал индексируется в следующих научных базах:

- Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
- Научная электронная библиотека открытого доступа КиберЛенинка (CyberLeninka)
- Scientific Indexing Services (SIS)
- Open Academic Journals Index (OAJI)
- Polska Bibliografia Naukowa (PBN)
- Academic Resource Index Research Bible
- Google Академия
- Eurasian Scientific Journal Index (ESJI)
- European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences (ERIH PLUS)

Учредитель: ФГБОУ ВПО «Нижневартовский государственный университет»

Адрес редакции: 628605, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, г. Нижневартовск, ул. Ленина, 56

Изд. лиц. ЛР № 020742. Подписано в печать 07.09.2015  
Формат 60×84 1/8. Бумага для множительных аппаратов  
Гарнитура Times. Усл. печ. листов 12. Тираж 1000 экз.  
Заказ 1720

Отпечатано в Издательстве НВГУ  
628615, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра,  
г. Нижневартовск, ул. Дзержинского, 11.  
Тел./факс: (3466) 43-75-73, E-mail: izdatelstvo@nggu.ru

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГРАММИРОВАНИЕ**

УДК 51:004.738.5+004.8

**А.П. Головки**  
Курган, Россия**В.Н. Лапин**  
Санкт-Петербург, Россия**РЕПРЕЗЕНТАТИВНО-РОЛЕВАЯ МОДЕЛЬ СОДЕРЖИМОГО ВЕБ-СТРАНИЦЫ**

**Аннотация.** Автоматический анализ содержимого (контента) веб-страниц является актуальной задачей, при этом анализ может служить самым разнообразным целям. Одной из задач, которая встает на практике, является выявление ролевой структуры контента: можно выделить основную статью, комментарии читателей, рекламу и другие функциональные роли. Решение этой задачи, кроме прочего, является важным шагом в направлении более глубокого автоматического анализа семантики страницы в дальнейшем.

Был выбран подход, согласно которому роль фрагмента определяется соответственно тому, как он внешне выглядит на экране, т.е. какова его репрезентация. Это соответствует человеческому способу восприятия.

Разработанная модель позволяет выделить фрагменты html-кода, выполняющие роли главного заголовка и основной статьи страницы. При этом основная статья может содержать разнородные элементы: текст, рисунки, таблицы и т.д., из нее удаляются внедренные фрагменты другого назначения (реклама и др.), могут использоваться различные компоновки контента на странице и способы верстки.

Модель представляет собой экспертную систему. Ее база знаний включает 1) семантическую сеть, отражающую связи между объектами и понятиями, которые используются в ходе решения задачи, 2) продукционную систему, содержащую правила, по которым осуществляется вывод. Стратегия вывода строится таким образом, чтобы исключить итерации. В ходе вывода сначала отбираются все кандидаты на определенную роль, т.е. фрагменты, которые в принципе могут оказаться в этой роли. Затем последовательно число кандидатов сокращается до одного, поскольку у ролей главного заголовка и основной статьи может быть только по одному исполнителю. Продукционная система имеет иерархическую структуру, каждая локальная система состоит из 5–10 правил и имеет автономное хранилище промежуточной информации, что сводит к минимуму возможность появления побочных эффектов.

Данная модель реализована программой на языке Python. Программа считывает html-файл из Интернета, удаляет все кроме главного заголовка и основной статьи и сохраняет результат на диске. Проверка работоспособности проводилась на новостных сайтах и на сайте Nabrаhаbr. Результаты в каждом случае оценивались экспертно. Доля правильно обработанных страниц составила 85–90% в случаях табличной верстки и 95–97% – в случае блочной.

**Ключевые слова:** веб; моделирование; искусственный интеллект.

**Сведения об авторах:** Александр Павлович Головки<sup>1</sup>, доцент кафедры программного обеспечения автоматизированных систем, Вадим Николаевич Лапин<sup>2</sup>, студент 2 курса факультета информационных технологий.

**Место работы:** <sup>1</sup>Курганский государственный университет, <sup>2</sup>Смольный институт Российской академии образования.

**Контактная информация:** 649923, г. Курган, Заозерный район, 3 мкр., д. 31, кв. 84; тел.: 9129783793. E-mail: apg49@mail.ru.

**1. Постановка задачи**

**Проблема.** Автоматический анализ содержимого (контента) веб-страниц является актуальной задачей, при этом анализ может служить самым разнообразным целям.

Одной из задач, которая встает на практике, является выявление ролевой структуры контента: можно выделить основную статью, сопутствующие материалы, комментарии читателей, информацию о сайте, рекламу и другие функциональные

роли. Кроме того, сами эти единицы могут иметь достаточно развитую структуру: например, основная статья может быть монолитной или состоять из равнозначных или вложенных фрагментов, текст и фото-, видео-, аудиоматериалы могут играть основную, вспомогательную или равноправную с текстом роль и т.д.

Одна из практически востребованных задач состоит в автоматическом выделении основной статьи (включая текст и другие компоненты). Далее, например, все остальное удаляется и резко «облегченная» страница хранится в облаке или ином хранилище. Такую услугу предлагают многие сервисы, например, [1]. Весьма перспективной представляется задача автоматического семантического анализа (в первую очередь) основного содержания страницы на предмет «о чем она на самом деле» и т.п. Существующие методы служат, в основном, целям оптимизации сайтов на предмет их продвижения.

Таким образом, встает задача разработки модели веб-страницы, которая при наложении ее на конкретный HTML-файл позволит выделить фрагменты HTML-текста, соответствующие различным функциональным ролям с точки зрения посетителя страницы.

**Стратегия моделирования.** На первый взгляд задача должна решаться просто. Сам язык HTML предполагает разбивку страницы на иерархически вложенные разделы. Теги `<h1>`, ..., `<h6>` служат для обозначения заголовков этих разделов, причем с явным указанием иерархии: Для заголовка основной статьи естественно использовать `<h1>` и далее вниз по убывающей. Более того, стандарт HTML-5 позволяет и фактически рекомендует проводить и семантическую разметку, вводятся теги, основное предназначение которых именно в этом, такие как `<section>` и др. [4]. Некоторые сайты используют внутренний стандарт, согласно которому такая семантическая разметка является обязательной; это

выяснено при проведении работы, о которой говорится в данной статье.

Однако, как правило, на практике дело обстоит иначе. Как показал проведенный анализ примерно 20 сайтов, в большинстве случаев HTML-текст структурирован плохо. Используемые генераторы HTML-кода пишутся так, чтобы удовлетворять сиюминутные утилитарные потребности разработчика. О какой семантической разметке может идти речь, если даже синтаксис HTML регулярно нарушается: комментарии внутри дескрипторов, отсутствие обязательных закрывающих дескрипторов или, наоборот, больше, чем открывающих, по несколько дескрипторов `<head>`, `<body>` и т.д. Веб-браузеры «прощают» это, автоматически исправляя, видимо, из соображений конкурентоспособности друг с другом.

Следовательно, простая декларативная модель, формально сопоставляющая различным блокам HTML-текста разные роли в соответствии с используемыми тегами (т.е., фактически, на основе синтаксической информации) может быть построена, но она будет иметь крайне ограниченное применение, по крайней мере, сейчас и в обозримом будущем.

Каким образом подойти к решению задачи?

Как уже упоминалось, имеется ряд программ, выполняющих очистку страницы от всего, кроме основной статьи. Прямое тестирование этих программ показало, что они действуют безукоризненно примерно в 85% случаев (тестовые примеры подбирались не тривиальные), при этом наблюдается определенная тенденция: одни программы чаще ошибаются, имея дело с таблицами, другие – с фото и видео, и т.д. Можно предположить, что в основе этих программ – движки с «навороченной» логикой, написанные в некоторой традиционной парадигме. Возможности такого подхода представляются ограниченными, особенно если говорить о более глубоком анализе семантики в дальнейшем.

Перспективным представляется другой подход. Человек – посетитель сайта визуально воспринимает интерпретированный браузером текст страницы и, обычно, легко определяет, где главное. Дизайнер проектирует страницу так, чтобы именно человеку было просто сориентироваться. Следовательно, программа-распознаватель ролей должна подражать человеку, т.е. по существу быть системой искусственного интеллекта. Такой подход одновременно готовит почву для более глубокого анализа семантики в перспективе.

Поскольку человек находит главное на странице, не перечитав все тексты и сравнив их, а по тому, как соответствующий фрагмент визуально представлен (репрезентован), соответствующую модель естественно назвать **репрезентативно-ролевой**.

Какую парадигму искусственного интеллекта выбрать? Наиболее естественными представляются экспертная система и нейронная сеть. Последняя, возможно, перспективнее. Однако на первых порах, когда не очень ясно, какие признаки учитывать, при том, что сам объект (текст длиной минимум в несколько килобайт) чрезвычайно многообразен, такое решение представляется трудно реализуемым. Поэтому выбирается экспертная система. Возможно, при накоплении материала станет реальным использование нейронной сети, в частности, комбинируя с экспертной системой. Модель, рассмотренная в данной работе, ориентирована на поиск исполнителей двух ролей: главного заголовка и основной статьи веб-страницы.

Этот вопрос мы обсудили довольно детально, поскольку, по нашему мнению, речь идет о выборе стратегии проведения исследований в данном направлении.

## 2. Содержательное описание задачи

Нас будут интересовать две роли: Главный заголовок и Основной текст. Причем Основной текст может содержать разнородные элементы: собственно текст (в

том числе – разбитый на части каким-то образом), таблицы, рисунки. Наша задача – действовать, подражая человеку.

Как человек на взгляд определяет, где главное?

Главный заголовок – самый крупный или, по крайней мере, не мельче прочих. Он, скорее всего, имеет много общего с заголовком страницы (тэг <title>), часто просто совпадает. Наконец, он стоит выше в представлении страницы на экране, чем другие заголовки, имеющие аналогичные характеристики. Он не мерцает, не движется по экрану и т.д.

Основной текст, скорее всего, наиболее крупный фрагмент. Он занимает приблизительно центральное положение на экране. Он тесно связан с Главным заголовком. При этом «на его территории» могут находиться и фрагменты, не входящие в его состав, или даже не имеющие к нему отношения (реклама).

Здесь приходится обратить внимание на роль Комментарий. По объему текста комментарии пользователей могут значительно превосходить Основную статью. Заголовок комментария может быть не меньше главного, может почти совпадать с заголовком страницы. Текст комментариев верстальщик может поместить в один HTML-контейнер с Основной статьей. Следует отметить, что Главный заголовок не содержит слово «комментарии» в любой форме, если только этого слова нет в <title>.

Также остается проблема ошибок и нарушений синтаксиса HTML, допущенных при верстке.

## 3. Архитектура модели как экспертной системы

Учитывая характер задачи, была принята стратегия, аналогичная стратегии «наименьшего риска» [5. С. 153] в его регулярном варианте (без случайных откатов). Стратегия предполагает, что если некоторая подзадача в составе задачи не может быть решена полностью, ее решение пре-

рывается, мы переходим к другой подзадаче, а к этой возвращаемся, когда появится нужная информация. При этом однажды принятые решения уже не нуждаются в пересмотре.

Согласно выбранной стратегии в ходе вывода сначала отбираются все кандидаты на определенную роль, т.е. фрагменты, которые в принципе могут оказаться в этой роли. Затем последовательно число кандидатов сокращается до одного. Напомним, что в нашем случае (поиск главного заголовка и основного текста) на каждую роль может приходиться ровно один исполнитель.

Важным требованием здесь является отсутствие откатов на уровне стратегии и итерационных циклов на тактическом уровне. Все блоки алгоритма верхнего уровня работают последовательно ровно 1 раз.

На нижнем уровне обработки информации, где как раз отрабатывается много мелких деталей и где возможны частые модификации подробностей алгоритма, используются небольшие продукционные системы: по 5–10 правил. Здесь есть опасность заикливания, так как они имеют управляющую структуру по принципу «выполнять, пока есть хотя бы одно релевантное правило». Однако при столь небольшом объеме этим моментом достаточно легко управлять, а при возникновении проблем – исправлять. Каждая такая система имеет свою локальную базу для промежуточных данных, поэтому побочные эффекты не угрожают. Наконец, в перспективе это может пригодиться для распараллеливания процесса, так как продукционная система обладает естественным параллелизмом [2. С. 53].

Практически все блоки промежуточной информации имеют структуру списков. Для их обработки используются программные средства обработки именно списков, а не массивов, что исключает заикливание.

Таким образом, работа системы последовательно декомпонирована на мелкие,

достаточно независимые фрагменты. Платой за это являются многочисленные и большие по объему массивы промежуточной информации. Они, однако, имеют несложную структуру и четко различаются по назначению, что облегчает задачу управления.

#### **4. Информационный компонент модели**

На уровне модели ее информационная составляющая представлена семантической сетью, которая включает 2 компонента: статический и динамический. Статический содержит понятия, которые используются в процессе вывода и не зависят от конкретной решаемой в данный момент задачи. Динамический отражает именно каждую конкретную задачу (веб-страницу). В целях удобочитаемости эта часть системы представлена в несколько другом виде. Понятия и связи из статической части даны в виде определений, причем опущены те, смысл которых итак понятен; из динамической части – в основном, в виде списков, идентификаторы которых соответствуют коду программы. Например, список `TxtListIdsPre` – «Список вообще всех ЕТ, непосредственно содержащих текст», на языке семантической сети означает набор экземпляров связи «Является», соединяющих некоторое множество элементов текста страницы с понятием «Блок, содержащий текст» и т.д.

##### **4.1. Статическая информация (понятия)**

1. Сам текст кода представлен обычной строкой символов `SourHtml`. Его элементы (обычные Юникод-символы) будем нумеровать, начиная с нуля.

2. Элемент текста ЕТ – фрагмент `html`-кода веб-страницы, который

1) включает в себя некоторый открывающий дескриптор, соответствующий ему закрывающий дескриптор и текст между ними. Если практически закрывающий дескриптор опущен, но ясно, где он подразумевается (например, `<p>`), то ЕТ включает фрагмент от начала открывающего де-

скриптора до точки, где подразумевается закрывающий;

2) если закрывающий дескриптор не положен по синтаксису языка (например, `<br>`), то включает только текст открывающего дескриптора.

Если  $X$  – некоторый ET, то  $beg(X)$  и  $end(X)$  – это, соответственно, номера позиций в SourHtml, соответствующих первому (`'<'`) и последнему (`'>'`) символам, принадлежащих  $X$ , а  $type(X)$  – тип открывающего дескриптора, с которого начинается этот фрагмент кода, например, `<div>`.

Два ET могут либо не пересекаться, либо один может быть вложен в другой.

3. AllET – множество всех ET блокового уровня [4], которые могут быть построены для данной SourHtml. Теги `<html>`, `<head>`, `<body>` относим сюда же.

4. Основной граф TreeOfElems – граф (дерево), представляющий структуру множества AllET. Он является базовым информационным объектом в алгоритме (не считая самой SourHtml). Имеет следующую характеристику

1) В корне дерева — фиктивный элемент «Все дерево». Далее — по вложенности.

2) Дерево TreeOfElems представлено вектором (массивом). При этом

– каждый элемент представляет один ET (не дескриптор);

– расположение элементов TreeOfElems всегда соответствует расположению ET в тексте. То есть, если открывающий дескриптор ET  $A$  расположен в SourHtml раньше, чем такой дескриптор ET  $B$ , то индекс ET  $A$  в TreeOfElems будет меньше, чем индекс ET  $B$ ;

– любое поддерево всегда представляет собой сплошной фрагмент TreeOfElems, первый элемент фрагмента — корень поддерева.

3) Каждый элемент имеет уникальный идентификатор – целое число, начиная с нуля. Первоначально (при построении дерева) идентификатор равен индексу в TreeOfElems. Затем, при преобразованиях

дерева, индекс может изменяться, идентификатор сохраняется. Все требования предыдущего пункта также сохраняют силу при преобразованиях дерева.

4) Каждый элемент TreeOfElems представлен кортежем, включающим информацию, позволяющую определить как положение в дереве, так и по отношению к SourHtml.

5. Текстовая таблица TblTxt – таблица (ET `<table>`), служащая для представления данных: текста, рисунков и т.д. Может содержать вложенные текстовые таблицы.

6. Организующая таблица TblOrg – таблица (ET `<table>`), служащая для организации нужного расположения фрагментов страницы на экране. Используется при табличной верстке. Может содержать вложенные организующие и текстовые таблицы.

7. Элемент, содержащий текст, – TxEt – это ET, включающий

– хотя бы один ET типов `<p>`, `<pre>`, `<blockquote>` – непосредственно и / или

– хотя бы один ET типа `<img>` и/или текстовую таблицу — непосредственно или не непосредственно.

8. Путь к элементу PhEt – путь от корня TreeOfElems к какому-то фрагменту.

PhEt строятся для ET либо отдельных подстрок текста, полностью входящих в состав одного ET — листа дерева, в частности — для отдельных символов.

PhEt представляет собой список, в начале которого стоит корень всего TreeOfElems, а в конце — ET, для которого этот PhEt построен, или тот ET, в состав которого входит подстрока, для которой строится матрица. Каждый элемент PhEt представлен парой (идентификатор элемента дерева, его индекс в дереве).

9. Марк-лист MrkLst. Подобен PhEt, однако последний элемент этого списка — список Sp: не пустой, но возможно, состоящий из одного элемента. Каждый элемент Sp задает один элемент TreeOfElems тем же способом, что и в PhEt. Все элементы Sp

должны являться непосредственными потомками одного и того же элемента TreeOfElems. Список Sp будем называть хвостом марк-листа, а остальную часть — головой. Практическое назначение марк-листов – пометка фрагментов, детектированных на определенную роль.

10. Корневой предок RootPar (для ET типов <h1>, ..., <h6>) – ET, являющийся самым близким предком данного ET и являющийся TxET.

11. Гроздь заголовков BrHead (здесь «заголовок» – ET любого из типов <h1>, ..., <h6>). Гроздь – это минимальное подде-

рево в дереве TreeOfElems, в которое входят все эти заголовки. Гроздь содержит не менее двух заголовков.

12. Используются предикаты: Anc(X, Y) – X является предком для Y в TreeOfElems, Par(X, Y) – X является родителем для Y в TreeOfElems, DescrBody(X) – X является телом некоторого дескриптора.

#### 4.2. Динамическая информация (объекты)

В таблице 1 представлены основные информационные объекты, порождаемые при моделировании одной веб-страницы.

Таблица 1

Основные динамические информационные объекты модели

№	Идентификатор	Семантика
1	SourHtml	Исходный html-код
2	TreeOfElems	Дерево элементов текста (ET)
3	TableRgstr	Реестр таблиц
4	Hdrs	Найденные заголовки, подходящие по совпадению с <title>
5	HdrsMatr	Информация о взаимном расположении кандидатов в Главный заголовок
6	BestHeaderId	Идентификатор лучшего кандидата в Главный заголовок
7	TxtListIdsPre	Список вообще всех ET, непосредственно содержащих текст
8	TxtListIdInds	Найденные ET с текстом – первичные
9	CandCommentWordsPos	Список слов в SourHtml, похожих на «Comment» на разных языках
10	PreparedCandCommentWord	CandCommentWordsPosr, подготовленные к рейтингу
11	BestCandCommentHeader Id	Из кандидатов в заголовки Комментария – самый вероятный
12	CandMainTxt_Ids	Список кандидатов в Основную статью, учитывая заголовок Комментария
13	TblForCandMainTxt_Ids	Для каждого кандидата в Основную статью – список текстовых таблиц, которые в него входят непосредственно, а если не непосредственно, то не через другую текстовую таблицу
14	MatrBlkWithLongText	PhET блока с самым длинным текстом. Ищется в пределах, ограниченных HdrsMatr
15		NessTextIds. Список ET в составе блока с самым длинным текстом, которые следует включить в марк-лист
16	QuUnusTextIds	ET в составе блока с самым длинным текстом, которые, возможно, не следует включить в марк-лист
17	MarkList1BestHdr	Марк-лист главного заголовка
18	MarkList1MaxText	Марк-лист самого длинного текста
19	MarkList1Head	Марк-лист для <head> страницы
20	MarkListsTxtTables	Список марк-листов текстовых таблиц
21	MarkListsImgs	Список марк-листов рисунков
22	CommParentHeadTtxtId	Ближайший общий предок Главного заголовка и Основной статьи

**5. Процедурный компонент модели**

Основные этапы/блоки алгоритма приведены в таблице 2. В каждом случае указаны только выходные данные. Для Blk0 входными данными является SourHtml.

Остальные используют (почти) всю имеющуюся на момент их запуска информацию. После таблицы содержится очень краткое описание работы основных блоков алгоритма.

Таблица 2

**Основные блоки алгоритма**

№	Идентификатор блока	Назначение	Что вычисляет/ модифицирует
1	Blk0	Предварительная обработка Простейшая обработка Реестра таблиц	TreeOfElems, TableRgstr
2	FindHeaders	Определение множества заголовков – кандидатов в Главный заголовок статьи	Hdrs, HdrsMatr
3	FindBestHdr	Определение Главного заголовка	BestHeaderId
4	FindAllTexts	Находит вообще все текстовые блоки	TxtListIdsPre
5	TxtLstCorr	Корректирует списки текстовых фрагментов (TxtListIdsPre) в связи с тем, что некоторые из них являются элементами текстовых таблиц	TxtListIdInds
6	FindCommentWords	Находит вхождения всех слов типа «Comment» в текст	CandCommentWordsPos
7	PrepairForRating-CandCommHdrs	Для каждой позиции CandCommentWordsPos находит очищенную строку. Определяет, не включена ли она в {<h1, ..., <h6> или <headre>	PrepairedCandCommentWord
8	RatingCandCommHdrs	Устанавливает, кто из кандидатов в заголовки Комментария – самый вероятный	BestCandCommentHdr_Id
9	MakeCandMainTxtList	Формирует список кандидатов в Основную статью (идентификаторы), учитывая заголовок Комментария	CandMainTxt_Ids
10	OpredTablesForCand	Для каждого кандидата в Основную статью определяет список текстовых таблиц, входящих в него	TblForCandMainTxt_Ids
11	FindMaxText	Определяет блок с самым длинным текстом и возвращает его PhET	MatrBlkWithLongText
12	PrepairToMarkingHeaderAndText	По уже имеющимся и BestHeaderId MatrBlkWithLongText готовит марк-листы для заголовка и текста	MarkList1MaxText
13	PrepToMarkingHtmlHead	Готовит HEAD страницы к удалению «лишнего»	MrkLst1Head
14	PrepairToMarkingTxtTbl	По уже имеющимся QuUnusTextIds готовит марк-листы для текстовых таблиц	MarkListsTxtTables
15	PrepairToMarkingImgs	По уже имеющимся QuUnusTextIds готовит марк-листы для <img>	MarkListsImg
16	DeleteByDictLst	Объединяет все марк-листы в один. Удаляет все ET, не включенные в марк-листы	TreeOfElems <sup>1</sup> , SourHtml <sup>1</sup>

Таблица 2. Продолжение

№	Идентификатор блока	Назначение	Что вычисляет/ модифицирует
17	CommParentHeadText	Находит ближайшего общего предка заголовка и текста	CommParentHeadTxtId
18	DeleteAttrByList	Из всех потомков CommParentHeadTxtId удаляет атрибут href вместе со значением	SourHtml <sup>2</sup>

<sup>1</sup>TreeOfElems, из которого удалены ET, не включенные в марк-листы.

SourHtml, в которой произведены удаления в соответствии с изменениями в TreeOfElems

<sup>2</sup>SourHtml, измененная в соответствии с выполненным действием.

### Предварительная обработка Blk0.

Из SourHtml удаляются все скрипты и комментарии. Строится TreeOfElems. Формально операция чисто техническая. Сканируется текст, выделяются дескрипторы, в TreeOfElems добавляются элементы, в них записывается нужная информация. Практически именно здесь выполняется работа по исправлению синтаксических ошибок в тексте и нередко – разгадывание загадок: что имел в виду автор. Кроме того, текст приводится к виду, требуемому для TreeOfElems. Например, если встречается «бесхозный» текст, для него создается тег <p>, и т.д. Так же строится реестр таблиц.

### Определение множества кандидатов в Главный заголовок статьи FindHeaders.

1. На первом шаге алгоритма формируется TitleLower: символьная строка, получаемая следующим образом. Получается строка sTitle — тело ET <title>. К sTitle применяется процедура PreaireString, которая «чистит» строку: убирает теги строкового уровня, лишние пробелы, каждый спецсимвол заменяется обычным Юникод-символом и т.д.

2. Формируется список Hdrs1, состоящий из идентификаторов всех элементов текста X, для которых  $\text{type}(X) \in \{\langle h1 \rangle, \dots, \langle h6 \rangle\}$ .

3. Для каждого элемента Hdrs1 определяется степень его сходства с TitleLower, т.е. по смыслу, степень сходства данного ET с заголовком страницы. Практически ищется самая длинная совпадающая под-

строка. В дальнейшем может использоваться более интеллектуальная процедура.

4. Для всей совокупности элементов Hdrs1 строится гроздь HdrsMatr – структура типа BrHead. С ее помощью можно отследить взаимное расположение кандидатов в тексте.

**Определение Главного заголовка FindBestHdr.** Если Hdrs содержит только один элемент, то этот кандидат (единственный) и есть Главный заголовок. Если кандидатов несколько, то они рейтинуются определенным образом. Мы считаем, что самый важный признак — тип ЭТ, содержащий текст заголовка. Реально у настоящего Главного заголовка это практически всегда <h1>. Далее, конечно, важна длина подстроки, по которой совпадает текст кандидата с текстом, содержащимся в <title>. А при совпадении (у двух и более конкурентов) обоих признаков лучше считается тот, что встречается раньше по тексту. Эту операцию производит специальная функция.

**Нахождение всех текстовых ET.** Просматривается весь ET <body>. Отбираются все ET, отвечающие условию:  $\text{ET}(X) \ \& \ (\exists Y)( \text{ET}(Y) \ \& \ \text{Par}(X, Y) \ \& \ ((\text{type}(Y) \in \{\langle p \rangle, \langle pre \rangle, \langle blockquote \rangle\}) \vee (\text{TblTxt}(Y) \ \& \ \neg(\exists Z)( \text{TblTxt}(Z) \ \& \ (Y \subset Z))))$ ), другими словами, отбираются элементы, про каждый из которых можно сказать, что он является родителем (только непосредственным, а не вообще предком) хотя бы одного ET, который отвечает одному из следующих условий: 1) это ET <p> или <pre> или <blockquote>; 2) это тексто-

вая таблица, не вложенная в другую текстовую. В дальнейшем мы будем чаще использовать содержательные, а не формальные описания.

**Формируем список кандидатов в заголовок комментариев: FindCommentWords.** Принцип состоит в следующем. Заголовок комментариев может состоять из одного слова «Комментарии» или то же на других языках. Заголовок может являться предложением типа «Комментарии по теме», при этом дальше может следовать и название темы, тогда заголовок комментариев будет содержать и заголовок статьи. С другой стороны, о каких-то комментариях может говориться в тексте основной статьи и еще где угодно. Необходимо найти фрагмент – самый вероятный кандидат на роль заголовка комментариев.

Имеется список CNS\_CommenWords слов и фрагментов слов на разных языках. Для каждого элемента CNS\_CommenWords составляется список его вхождений в SourHtml, для многих эти списки будут пусты. Далее удаляются все вхождения  $X$ , для которых выполняется  $\text{DescrBody}(Y) \ \& \ (X \subset Y) \vee (\text{type}(Z) = \langle a \rangle) \ \& \ \text{Anc}(Z, X)$ .

**Дополнительно обрабатывается список кандидатов в заголовки комментариев:**

**PrepairForRatingCandCommHdrs.** Для каждого кандидата определяется его ближайший предок – ЕТ блокового уровня. Его содержимое обрабатывается процедурой PpreaireString.

**Определение, кто из кандидатов в заголовки Комментария – самый вероятный: RatingCandCommHdrs.** Считается, что если текст состоит из одного слова «Комментарии», «Comments» и т.п. на других языках, то это и есть самый важный признак того, что мы имеем заголовок комментариев. Эти слова составляют список CommentWholeHeader1. Следующим по важности считается «ранг» ЕТ, в котором данный заголовок расположен. Самый приоритетный  $\langle h1 \rangle$ , далее  $\langle h2 \rangle, \dots, \langle h6 \rangle$ ,

$\langle header \rangle$ , любой другой. И далее, при прочих равных условиях, более вероятным считается тот, кто расположен выше по тексту.

**Формируется список кандидатов в основной текст: MakeCandMainTxtList.** Формируется CandMainTxt\_Ids – список кандидатов на роль основного текста, учитывая заголовок Комментария. Сейчас мы просто не включаем в список кандидатов тех, кто стоит в дереве после BestCandCommentHeader\_Id. (Иногда заголовок Комментария оказывается выше Главного заголовка, хотя сами комментарии – всегда ниже. Этот случай обрабатывается отдельно, здесь его не рассматриваем). Практически если идентификатор элемента этого списка меньше BestCandCommentHeader\_Id (или заголовка Комментария вообще нет), то элемент включается в число кандидатов.

**Для каждого кандидата в основной текст составляется список текстовых таблиц, входящих в него: OpredTablesForCand.** Говоря просто, если какая-то не вложенная текстовая таблица содержится в некотором контейнере, являющемся кандидатом в основной текст статьи, то этот факт фиксируется. Список Res1 – собрание таких фактов. Он вполне может оказаться пустым, если основная статья не содержит таблиц или их вообще нет. На основе этого списка для каждого кандидата формируется список входящих в него текстовых таблиц, причем не вложенных.

**Определяется блок с самым длинным текстом: FindMaxText.** Определяется длина текста в каждом кандидате в Основной текст статьи.

1. Для кандидата выполняется следующее:

1) Определяется длина «обычного» (т.е. вне таблиц) текста в кандидате. Для этого сканируется список потомков кандидата. Если тип потомка – один из  $\{ \langle p \rangle, \langle pre \rangle, \langle blockquote \rangle, \langle ol \rangle, \langle ul \rangle \}$ , то с помощью процедуры CalcPureTxtLen подсчи-

тывается «чистая» длина текста в этом потоке.

2) Определяется длина текста в таблицах, входящих в состав кандидата, используя `TblForCandMainTxt_Ids`. В каждом случае выбрасываются входящие дескрипторы любых тегов, в том числе вложенные. Отбрасываются ведущие и хвостовые пробелы. Возвращает длину полученной строки.

3) Все длины текстов суммируются.

2. Выбирается кандидат с наибольшим значением показателя. Это и есть Основная статья.

**Подготовка марк-листов для Главного заголовка, Основной статьи и <head>'а html-страницы.** Это заключительная стадия алгоритма по собственно распознаванию ролей, включающая несколько блоков таблицы 2.

1. Мы знаем ЭТ с текстом Основной статьи. Следует ли этот ЭТ включать в результат в полном составе? В общем случае – нет. Там могут быть посторонние объекты, например, реклама, ссылки на дополнительные материалы по теме и т.д. Кроме того, в этот ЭТ могут быть включены и комментарии. Мы их должны взять на заметку (для распознавания и этих ролей в будущем), но пока исключить. Поэтому сначала мы отбираем то, что заведомо нужно. Это  $\{X \mid \text{type}(X) \in \{\langle p \rangle, \langle pre \rangle, \langle blockquote \rangle, \langle ol \rangle, \langle ul \rangle, \langle h1 \rangle, \dots, \langle h6 \rangle\}\}$ . Все остальные пока считаются предположительно ненужными. Получаются, соответственно, 2 списка `NessTextIds` и `QuUnusTextIds`. Далее из этих списков удаляем все элементы, имеющие идентификатор больше `BestCandCommentHeader_Id`, т.е., по-видимому, уже относящиеся к комментариям. Для элементов из `NessTextIds` формируем марк-лист.

2. Далее формируем `MarkList1BestHdr` – марк-лист для главного заголовка.

3. В ЭТ `<head>` нам нужно сохранить `<title>` и те ЭТ `<meta>`, в которых есть атрибуты `'charset'` и `'http-equiv'`. Двух последних может и не оказаться. Мы считаем, что

эти ЭТ входят в `<title>` непосредственно. Их обнаружение и составление марк-листов не вызывает особенных трудностей.

4. Создается марк-лист для таблиц, которые необходимо включить в Основную статью. Для этого сканируется список предположительно ненужных элементов `QuUnusTextIds`. Если элемент – не вложенная текстовая таблица, то он признается годным и на него составляется марк-лист.

5. Аналогичная процедура выполняется для рисунков (ЭТ `<img>`) в составе Основной статьи.

**Удаление всех ЭТ, не включенных в марк-листы,** является технической операцией.

**Нахождение ближайшего общего предка Главного заголовка и Основной статьи** необходимо для обеспечения правильного отображения страницы на экране после всех модификаций.

## 6. Программная реализация

Данная модель реализована программно.

На вход программы подается список URL. Программа считывает html-файл по одному из Интернета, удаляет все кроме главного заголовка и основной статьи и сохраняет результат на диске, там он может быть просмотрен с помощью любого браузера. Пользовательского интерфейса фактически нет.

Программа написана на языке Python. Архитектура программы следующая.

Два основных компонента программы: 1) экспертная система, реализующая модель, 2) интерфейс с Интернетом и хранилищем на диске. Развитой базы данных и пользовательского интерфейса фактически нет.

Основным компонентом является экспертная система. Программно она представляет собой набор следующих основных компонентов:

1) Библиотека из примерно 35 мелких функций.

2) Хранилище глобальной информации (см. табл. 1).

3) Класс ProdSyst, реализующий производственную систему. В ходе работы программы создается некоторое количество экземпляров класса, которые при создании инициализируются набором правил. Каждое правило представляет собой кортеж из двух небольших функций (обычно – в виде лямбда-функций): антецедента и консеквента продукции. Антецедент возвращает логическое значение и содержит, в основном, ссылки на глобальную информацию и на локальную информацию (свойства) данного экземпляра ProdSyst. Консеквент, в основном, содержит вызовы библиотечных функций. Библиотечные функции, как правило, работают только с глобальной информацией, причем узко специализированы. Язык Python здесь очень удобен, так как позволяет действовать в стиле функционального программирования, при этом каждой функцией (или набором) можно манипулировать, как одним объектом.

4) Функция, которая запускает всю систему и организует работу в целом.

В начале работы создается объект класса ProdSyst, которому передается система правил, фактически, без антецедентов, а консеквенты реализуют как раз действия, описанные в табл. 2. Те, в свою очередь, создают экземпляры ProdSyst для решения локальных задач и т.д. Этот объект существует до конца работы и разрушается последним.

### 7. Экспериментальная проверка

Проверка работоспособности проводилась на новостных сайтах, сайтах IT-

компаний и на сайте habrahabr.ru. Сайты русско- и англоязычные. Результаты в каждом случае оценивались экспертно. Естественно, БЗ многократно дорабатывалась. В конце процесса работы над системой доля правильно обработанных страниц составила 85–90% в случаях табличной верстки и 95–97% – при блочной. Разницу можно объяснить, с одной стороны, тем, что в случае блочной верстки программа чувствительнее к ошибкам в HTML-коде, их сложнее исправлять. С другой стороны, сама модель нуждается в доработке в части распознавания HTML-страницы, созданной с помощью табличной верстки.

### 8. Выводы

Разработана модель содержимого (контента) веб-страницы, позволяющая выделить фрагменты html-кода, выполняющие роли главного заголовка и основной статьи страницы. При этом основная статья может содержать разнородные элементы: текст, рисунки, таблицы и т.д., из нее удаляются внедренные фрагменты другого назначения (реклама и др.), могут использоваться различные компоновки контента на странице и способы верстки.

Модель основана на подражании человеческому способу восприятия информации «на взгляд» при выделении главных фрагментов содержания, т.е. ориентируется на то, как представлена информация.

Технически модель представляет собой экспертную систему.

Модель программно реализована. Экспериментальная проверка показала достаточно высокую адекватность модели.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Приложение для сохранения информации в облаке. Pocket URL: <http://getpocket.com>.
2. Производственные модели // Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник / Под ред. Д.А.Поспелова. – М., 1990.
3. Семантика в HTML 5. URL: <http://habrahabr.ru/post/49734>.
4. Учебник HTML. URL: <http://ru.html.net/tutorials/html>.
5. Элти Дж., Кумбс М. Экспертные системы: концепции и примеры. – М., 1977.

## REFERENCES

1. Prilozhenie dlya sokhraneniya informatsii v oblake Pocket [Application for storing data in Pocket cloud]. URL: <http://getpocket.com>. (In Russian).
2. Produktionnyye modeli [Production models]// In: Iskusstvennyj intellekt. Kniga 2. Modeli i metody: Spravochnik/ Ed. by D.A. Pospelov. Moscow, 1990. (In Russian).
3. Semantika v HTML 5 [Semantics in HTML 5]. URL: <http://habrahabr.ru/post/49734/> (In Russian).
4. Uchebnyk HTML [A HTML guide]. URL: <http://ru.html.net/tutorials/html/> (In Russian).
5. Elti, Dj., Cumbs, M. Ekspertnyye sistemy: konceptsii i primery [Expert systems: concepts and examples]. Moscow, 1977. (In Russian).

*A.P. Golovko*  
Kurgan, Russia

*V.N. Lapin*  
Saint-Petersburg, Russia

## REPRESENTATIVE AND ROLE MODEL OF THE WEB PAGE CONTENT

**Abstract.** Today automatic analysis of the web page content is a topical problem. The analysis enables us to solve several practical problems, including detecting the role structure of a page content. Here we can distinguish the main page article, comments of website visitors, advertisements, and other functions. In addition, solving this problem is an important step towards a more profound automatic analysis of website semantic in the future.

We have applied the approach defining the role of some html-code fragment in accordance with the way it is represented on the screen, which corresponds to the human way of perception.

The developed model allows us to distinguish such html-code fragments acting as the main header and the main article of a page. The main article may contain different elements, such as a text, tables, images, etc. Often other elements (advertisements etc.) are deleted from the main article, and various ways of placing content elements on the screen and page layouts may be applied.

The model is an expert system with the knowledge base containing 1) a semantic net reflecting relations between objects and concepts used in problem-solving; 2) a production system containing a set of rules for the inference. The inference strategy is constructed so to exclude any iteration. During the inference, all elements that can play this role are selected, after which the number of them gradually decreases to one. The production system has a hierarchical structure, with each local system consisting of 5–10 rules and having its own local data storage, which allows us to minimize the probability of side effects.

This model is implemented as a program using Python programming language. The program reads html-file from the Internet, removes all elements except the main header and main article, and stores the result as a file on a hard disc. The program was tested on news-sites and habrahabr.ru. The proportion of correctly processed pages was 85–90% in case of the table layout of a page and 95–97% when a page was developed as a block.

**Key words:** web; modeling; artificial intelligence.

**About the authors:** Alexandr Pavlovich Golovko<sup>1</sup>, Associate Professor at the Department of Automated Systems Software, Vadim Nickolaevich Lapin<sup>2</sup>, 2<sup>nd</sup> year student of the Faculty of Information Technologies.

**Place of employment:** <sup>1</sup>Kurgan State University, <sup>2</sup>Smolny University of the Russian Academy of Education.

УДК 51-7:621.1.016

Н.П. Дмитриев  
Нижевартовск, РоссияОЦЕНКА НОРМЫ ПРОИЗВОДНОЙ КОМПЛЕКСНОЗНАЧНОЙ ФУНКЦИИ  
С ВЫПУКЛОЙ ОБЛАСТЬЮ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДНОЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА

**Аннотация.** В теории приближения функций есть немало результатов, связанных с так называемыми теоремами сравнения и неравенствами для производных на различных классах дифференцируемых функций. В дальнейшем будем рассматривать класс дифференцируемых функций с абсолютно непрерывной производной на любом отрезке прямой и существенно ограниченной производной старшего порядка. В статье [1] нами были даны оценки быстродействия действительных дифференцируемых функций с несимметричными ограничениями на вторую производную. Затем в статье [2] полученные результаты были распространены на класс комплекснозначных дифференцируемых функций с несимметричными ограничениями на вторую производную. Был рассмотрен случай, когда областью изменения производной второго порядка является эллипс, один из фокусов которого находится в начале координат. Следует отметить, что задача оценки быстродействия действительных или комплекснозначных функций тесно связана с задачей оценки норм производных таких функций. Оказалось, что в этом случае норму производной ограниченной по норме комплекснозначной функции можно оценить через сплайны Бернулли, которые были использованы в [5], или сплайны Эйлера [3]. В данной статье получена двусторонняя оценка нормы производной комплекснозначной дифференцируемой функции с несимметричными ограничениями на производную второго порядка, а именно, рассмотрен случай, когда областью изменения производной второго порядка является некоторое выпуклое множество комплексной плоскости. Если в это множество вписать некоторый эллипс, один из фокусов которого находится в начале координат, и описать вокруг этого множества другой такой эллипс, то можно получить двустороннюю оценку нормы производной ограниченной комплекснозначной функции. В связи с этим возникает задача нахождения эллипсов, наилучшим образом охватывающих границу заданного выпуклого множества. Для получения такого наилучшего вписанного эллипса можно использовать в качестве критерия максимизацию большой полуоси и минимизацию расстояния от начала координат до фокуса. Для получения наилучшего описанного эллипса можно использовать в качестве критерия минимизацию большой полуоси и максимизацию расстояния от начала координат до фокуса. Решение такой задачи позволит минимизировать разницу между верхней и нижней оценкой нормы производной. В настоящей статье двусторонняя оценка нормы производной ограниченной комплекснозначной функции получена в предположении, что относительно ограниченной выпуклой области изменения производной второго порядка вписанный и описанный эллипсы, наилучшим образом охватывающие границу этой области, построены. Таким образом, двусторонняя оценка нормы производной ограниченной комплекснозначной функции с выпуклой областью изменения производной второго порядка выражена через норму самой функции и размеры эллипсов, охватывающих границу выпуклой области.

**Ключевые слова:** сплайны Эйлера; теоремы сравнения; оценка нормы производной.

**Сведения об авторе:** Дмитриев Николай Пименович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физико-математического образования.

**Место работы:** ФГБОУ ВПО «Нижевартовский государственный университет».

**Контактная информация:** г. Нижевартовск, ул. Чапаева, д. 7, кв. 183; тел.: 8-982-587-40-87. E-mail: [dnp4@yandex.ru](mailto:dnp4@yandex.ru).

Пусть  $\overline{W}^2$  означает класс заданных на всей числовой прямой  $R$  комплекснозначных дифференцируемых функций  $f(t)$  с абсолютно непрерывной производной  $f'(t)$  на любом отрезке из  $R$  и существенно ограниченной производной второго порядка, причем

$$K = \|f\| = \sup |f(t)|, \quad \text{ess sup} |f''(t)| < \infty.$$

Областью изменения комплекснозначной функции  $f(t)$  является центральный круг  $\|f\| \leq K$  радиуса  $K$ . Областью изменения производной второго порядка функций класса  $\overline{W}^2$  является некоторое

выпуклое множество  $\Omega$ , содержащее начало координат.

Введем в рассмотрение сплайны Бернулли

$$s_r(t) = a(b_{r+1}(ct - d) - b_{r+1}(ct + d)), \quad b_r(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos(kt - r\pi/2)}{k^{r+1}}, \quad (1)$$

( $a, c, d$  – специально подобранные параметры под заданные ограничения функции), которые в случае  $r = 2$  были использованы в [5] для доказательства точного неравенства между производными действи-

тельной дифференцируемой функции с несимметричными ограничениями на производную второго порядка. Рассмотрим также совершенные сплайны Эйлера,

$$\varphi(t) = \frac{1}{l^r} f_r(lt), \quad f_r(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sin((2k+1)t - \pi r/2)}{(2k+1)^{r+1}}, \quad (2)$$

( $l$  – специально подобранный параметр под заданные ограничения функции), примененные в [3] при доказательстве теоремы сравнения и точного неравенства между

производными действительной дифференцируемой функции с симметричными ограничениями на производную  $n$ -го порядка. Ясно, что параболические сплайны Эйлера

$$\varphi(t) = \frac{1}{l^2} f_2(lt), \quad f_2(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\sin(2k+1)t}{(2k+1)^3}, \quad (3)$$

являются частным случаем приведенных выше сплайнов Бернулли

$$s_2(t) = a(b_3(ct - d) - b_3(ct + d)), \quad b_2(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\cos(kt - 3\pi/2)}{k^3}, \quad (4)$$

при  $r = 2$ .

Для получения двусторонней оценки нормы производной ограниченной комплекснозначной функции с областью изменения производной второго порядка в виде

некоторого выпуклого множества комплексной плоскости нам понадобится алгебраическая форма сплайнов Эйлера второго порядка:

$$f_2(t) = \begin{cases} \frac{t^2}{2} - K_2, & [-\pi/2, \pi/2) \\ -\frac{(t-\tau_1)^2}{2} + K_2, & [\pi/2, 3\pi/2) \end{cases}, \quad (5)$$

где  $K_2 = \frac{\pi^2}{8}$  – константа Фавара.

Рассмотрим эллипс

$$(a^2 - c^2)(u + c)^2 + a^2 v^2 = a^2(a^2 - c^2),$$

где  $a$  – его большая полуось, а  $c$  – расстояние от начала координат до фокуса. Пусть прямая  $v = ku$  проходит через начало координат и точки  $w_1, w_2$  на этом эллипсе (см. рис. 1).

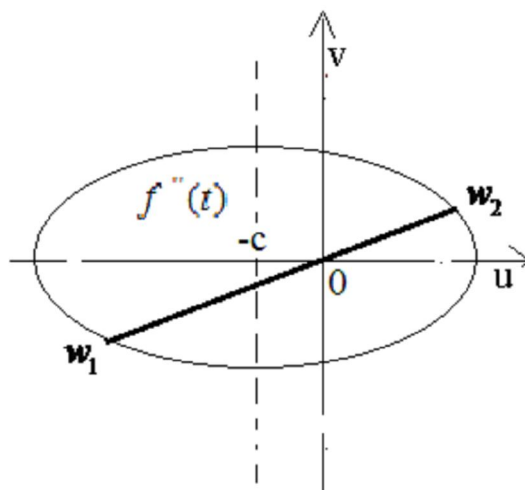


Рис. 1

Ясно, что областью изменения производной второго порядка функции

$$\overline{\varphi(t)} = \varphi(t) \cdot e^{i\delta}, \quad (\delta = \arctg k)$$

будет отрезок  $[\omega_1, \omega_2]$  (точнее, сами границы этого отрезка).

В [2] было доказано, что при любом  $k$  (или  $\delta$ ) справедливо равенство:

$$\frac{|w_1| + |w_2|}{|w_1| \cdot |w_2|} = 2a.$$

Это означает, что независимо от наклона прямой  $v = ku$  левая часть этого равенства сохраняет постоянное значение, равное диаметру эллипса. Следовательно, в качестве функций сравнения для получения оценок норм производных функций заданного класса можно использовать сплайны Бернулли, когда отрезок  $[\omega_1, \omega_2]$  совпадает с диаметром эллипса, или сплайны Эйлера,

когда этот отрезок лежит на мнимой оси  $Ov$  (см. рис. 1).

Рассмотрим два эллипса

$$E_1: (u + c_1)^2 / a_1^2 + v^2 / (a_1^2 - c_1^2) = 1,$$

$$E_2: (u + c_2)^2 / a_2^2 + v^2 / (a_2^2 - c_2^2) = 1,$$

где  $a_1$  – большая полуось эллипса  $E_1$ ,  $c_1$  – расстояние от начала координат до фокуса этого эллипса, а  $a_2$  – большая полуось эллипса  $E_2$ ,  $c_2$  – расстояние от начала координат до фокуса этого эллипса. Будем считать, что эллипс  $E_1$  наилучшим образом вписан в заданную выпуклую область  $\Omega$  (например, по критерию  $a_1 \rightarrow \max$ ,  $c_1 \rightarrow \min$ ), а эллипс  $E_2$  наилучшим образом описан вокруг области  $\Omega$  (например, по критерию  $a_1 \rightarrow \min$ ,  $c_1 \rightarrow \max$ ).

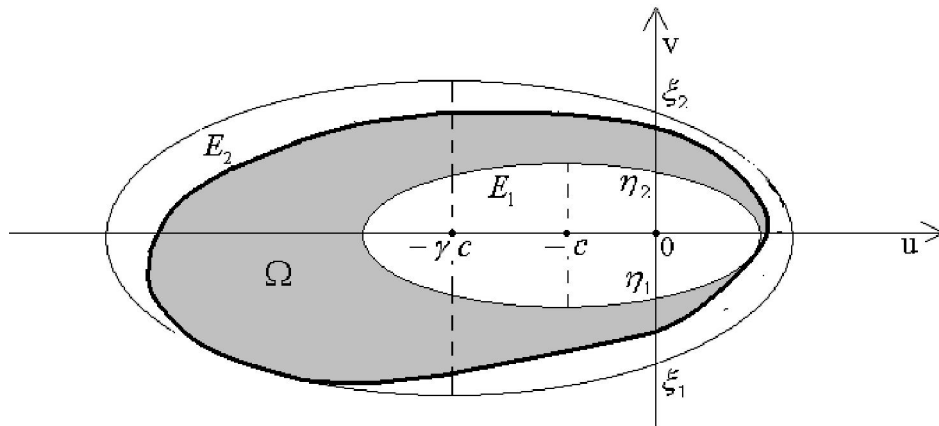


Рис. 2

Необходимо оценить норму производной  $L_1 \leq \|f'\| \leq L_2$  при заданных ограничениях на области изменения самой

функции  $f(t) \in \overline{W}^2$  и ее производной  $f''(t)$ .

Рассмотрим функции

$$\varphi_1(t) = \begin{cases} |\eta| \frac{t^2}{2} - K, & [-\tau_1/2, \tau_1/2) \\ -|\eta| \frac{(t-\tau_1)^2}{2} + K, & [\tau_1/2, 3\tau_1/2) \end{cases}, \quad (6)$$

где

$$|\eta| = |\eta_1| = |\eta_2|, \quad \tau_1 = 2 \sqrt{\frac{2K}{|\eta|}},$$

$$\varphi_2(t) = \begin{cases} |\xi| \frac{t^2}{2} - K, & [-\tau_2/2, \tau_2/2) \\ -|\xi| \frac{(t-\tau_2)^2}{2} + K, & [\tau_2/2, 3\tau_2/2) \end{cases}, \quad (7)$$

где

$$|\xi| = |\xi_1| = |\xi_2|, \quad \tau_2 = 2 \sqrt{\frac{2K}{|\xi|}}.$$

В соответствии с рисунком 1 областью изменения функций

$$\overline{\varphi_1(t)} = \varphi_1(t) \cdot e^{i\pi/2} \text{ и } \overline{\varphi_2(t)} = \varphi_2(t) \cdot e^{i\pi/2}$$

будут отрезки  $[\eta_1, \eta_2]$  и  $[\xi_1, \xi_2]$  соответственно.

**Теорема.** Пусть  $f \in \overline{W}^2$  такова, что

$$\|f\| = \|\overline{\varphi_1}\| = \|\overline{\varphi_2}\| = K, \quad f''(t) \in \Omega.$$

Тогда

$$\|\overline{\varphi_1}'\| \leq \sup_f \|f'\| \leq \|\overline{\varphi_2}'\|. \quad (8)$$

Подсчитаем нормы производных функций  $\overline{\varphi_1(t)}$  и  $\overline{\varphi_2(t)}$ . Из (6) и (7) получаем:

$$\varphi_1'(t) = \begin{cases} |\eta|t, & [-\tau_1/2, \tau_1/2) \\ -|\eta|(t-\tau_1), & [\tau_1/2, 3\tau_1/2) \end{cases}, \quad (9)$$

$$\varphi_2'(t) = \begin{cases} |\xi|t, & [-\tau_2/2, \tau_2/2) \\ -|\xi|(t-\tau_2), & [\tau_2/2, 3\tau_2/2) \end{cases}. \quad (10)$$

Отсюда

$$\|\varphi_1'\| = \varphi_1'(\frac{\tau_1}{2}) = |\eta| \frac{\tau_1}{2} \quad \|\varphi_2'\| = \varphi_2'(\frac{\tau_2}{2}) = |\xi| \frac{\tau_2}{2}.$$

Подставляя  $\tau_1$  и  $\tau_2$  из (6) и (7) в (8), приходим к следующим выражениям:

$$\|\phi_1'\| = |\eta| \frac{\tau_1}{2} = \sqrt{2K|\eta|} \quad \|\phi_2'\| = |\xi| \frac{\tau_2}{2} = \sqrt{2K|\xi|}. \quad (11)$$

Из уравнений описанного и вписанного эллипсов  $E_2, E_1$  нетрудно получить выражения модулей комплексных чисел  $\eta, \xi$  через размеры этих эллипсов:

$$|\eta| = \frac{a_1^2 - c_1^2}{a_1}, \quad |\xi| = \frac{a_2^2 - c_2^2}{a_2}. \quad (12)$$

Таким образом, неравенство (8) в приведенной выше теореме с учетом (11) и (12) можно уточнить так:

$$\sqrt{2K \frac{a_1^2 - c_1^2}{a_1}} \leq \sup_f \|f'\| \leq \sqrt{2K \frac{a_2^2 - c_2^2}{a_2}}.$$

Если выпуклая область является кругом радиуса  $a$ , то приходим к известному неравенству Адамара [4]:

$$\|f'\| \leq \sqrt{2Ka}.$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев Н.П. Оценка быстродействия динамического процесса на классе дифференцируемых функций с несимметричными ограничениями // Вестник Нижневартковского гос. ун-та. – 2013. – № 3. – С. 32–37.
2. Дмитриев Н.П. Оценка быстродействия комплекснозначных функций с эллиптической областью изменения производной второго порядка // Математические структуры и моделирование. – 2015. – № 1 (33). – С. 32–37.
3. Колмогоров А.Н. О неравенствах между верхними гранями последовательных производных произвольной функции на бесконечном интервале // Учен. зап. Моск. ун-та. – 1938. – Вып. 30. Математика. – Кн. 3. – С. 3–16.
4. Hadamard J. Sur le module maximum d'une fonction et de ses derives // Soc. Math. France. Comptes rendus des Seances. – 1914. – 41. – P. 68–72.
5. Hörmander L. A new proof and generalization of an inequality of Boor // Math. Scand. – 1954. – Vol. 2. – № 1. – P. 33–45.

#### REFERENCES

1. Dmitriev, N.P. Otsenka bystrodejstviyya dinamicheskogo protsessa na klasse differenciruemykh funktsij s nesimmetrichnymi ogranicheniyami [Evaluating the dynamic process performance in the class of differentiable functions with asymmetrical restrictions] // Vestnik Nizhnevartovskogo gos. un-ta. 2013. № 3. P. 32–37. (In Russian).
2. Dmitriev, N.P. Otsenka bystrodejstviya kompleksnoznachnykh funktsij s ellipticheskoy oblastiyyu izmeneniya proizvodnoj vtorogo poryadka [Evaluating the performance of complex functions with the elliptical area of the second-order derivatives] // Matematicheskie struktury i modelirovanie. 2015. № 1 (33). P. 32–37. (In Russian).
3. Kolmogorov, A.N. O neravenstvakh mezhdru verkhnimi granyami posledovatelnykh proizvodnykh proizvolnoj funktsii na beskonechnom intervale [On inequalities between upper bounds of the consecutive derivatives of an arbitrary function on the infinite interval] // Uchenye zapiski MGU. 1938. Issue 30. Matematika. Book 3. P. 3–16. (In Russian).
4. Hadamard, J. Sur le module mahimum d'une fonction et de ses derives // Soc. Math. France. Comptes rendus des Seances. 1914. 41. P. 68–72.
5. Hörmander, L. A new proof and generalization of an inequality of Boor // Math. Scand. 1954. Vol. 2. № 1. P. 33–45.

*N.P. Dmitriev*  
Nizhnevartovsk, Russia

## EVALUATING THE NORM OF THE COMPLEX-VALUED FUNCTION DERIVATIVE WITH THE CONVEX DOMAIN OF VARIATION OF THE SECOND ORDER DERIVATIVE

**Abstract.** Many results related to the so-called comparison theorems and inequalities for derivatives in different classes of differentiable functions have been obtained in the theory of approximation of functions. In what follows we consider the class of differentiable functions with an absolutely continuous derivative on any straight-line segment and essentially restricted by a derivative of higher order. Our work [1] presented the evaluation of the actual performance of differentiable functions with asymmetrical restrictions on the second derivative. In paper [2] we provided the results extended to the class of complex-valued differentiable functions with asymmetric restrictions on the second derivative. We considered a case when the domain of variation of the second-order derivative was an ellipse with one of the focuses at the origin of coordinates. It is worth noting that the problem of evaluating the performance of real or complex-valued functions is related to the problem of estimating the norms of derivatives of such functions. It turned out that in this case the norm of the derivative restricted in the norm of complex-valued functions can be evaluated using Bernoulli splines applied in [5], or Euler splines [3]. Here we have received a bilateral evaluation of the derivative norm of a complex-valued differentiable function with asymmetric restrictions on the second-order derivative, namely, we have considered a case when the domain of variation of second-order derivative is a convex set of a complex plane. If we fit a certain ellipse with one of the focuses at the origin of coordinates in this set and describe another ellipse around this set, it is possible to obtain a two-sided evaluation of the norm of the restricted complex-valued function derivative. This raises a problem of finding ellipses that best encompass the boundary of the given convex set. To get the best inscribed ellipse we can use the maximization of the major semiaxis and the minimization of the distance from the origin of coordinates to the focus as a criterion. To get the best circumscribed ellipse we can use the minimization of the major semiaxis and the maximization of the distance from the origin of coordinates to the focus as a criterion. This problem solved, we will be able to minimize the difference between the upper and lower estimate of the derivative norm. Here we have obtained a bilateral evaluation of the derivative norm of the restricted complex-valued function under the assumption that inscribed and circumscribed ellipses that best encompass the boundary of the area were built as regard to a restricted convex domain of variation of the second-order derivative. Thus, bilateral evaluation of the derivative norm of restricted complex-valued functions with a convex domain of variation of the second-order derivative is expressed through the norm of the function and size of the ellipses covering the boundary of a convex domain.

**Key words:** the Euler splines; comparison theorems; evaluation of derivative norms.

**About the author:** Nikolai Pimenovich Dmitriev, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Education in Mathematics and Physics.

**Place of employment:** Nizhnevartovsk State University.

---

---

УДК 511:519.688

*Т.Б. Казиахмедов*  
Нижневартовск, Россия

## ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СИСТЕМ

**Аннотация.** Использование фрактального анализа необходимо при решении задач диагностики систем, связанных с изменениями параметров в течение времени, т.е. на временных рядах. Сегодня нет ни одной отрасли экономики, где не используется алгоритмы, основанные на теории фрактального анализа. Данной теории долгое время не придавалось соответствующего значения. Конфликт между симметрией евклидовой геометрии и асимметрией реального мира может быть продлен до нашего понятия времени. Традиционно события рассматриваются либо как случайные, либо как детерминированные. Во фрактальном времени случайность и детерминизм, хаос и порядок сосуществуют. Это подходит и для естественных систем, кото-

рые характеризуются локальной случайностью и глобальным детерминизмом. Нами были исследованы как линейные, так и нелинейные фракталы, было проанализировано использование фрактального анализа в задачах оценки состояния рынков, нефтяных предприятий, а также в сложных задачах оценки состояния систем в целом.

Разработанная программа «Фрактальные множества» в первую очередь демонстрирует красоту фрактальных узоров, свойство «самоподобия» фракталов и позволяет получить фрактальные множества Жюлиа и Манделброта разных степеней. Данная программа также позволяет исследовать поведение фрактальных узоров при изменении комплексной константы  $C$ . Причем мы можем получить комплексные координаты точек этих множеств.

Очень важно отметить, что использование фрактального анализа становится интереснее и практичнее при использовании таких пакетов как MatLab и SkiLab(Сайлаб), которые и содержат в себе соответствующие модули фрактального анализа. Программные модули по использованию фрактального анализа нами были разработаны с использованием указанных пакетов символьной математики. Также были разработаны программные модули для построения различных фракталов и фрактальных диаграмм поведения систем. Решение таких задач с использованием данных пакетов является актуальным практически по всем направлениям подготовки бакалавров и магистров.

Программа «Фрактальные множества» реализована на языке C++. На программу получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Ключевые слова:** фрактал; фрактальная геометрия; фрактальный анализ; временные ряды.

**Сведения об авторах:** Казиахмедов Туфик Багаутдинович, доцент кафедры информатики и МПИ.

**Место работы:** Нижневартковский государственный университет.

**Контактная информация:** г. Нижневартковск, ул. Дзержинского, д. 11, каб. 207а. E-mail: ktofik@yandex.ru.

### **Введение во фрактальные временные ряды**

Математическая культура долгое время была одержима гладким и симметричным. Фрактальная геометрия в отличие от евклидовой основывается на грубости и асимметрии. «Самоподобие» является определяющим свойством фракталов. Большинство естественных структур, особенно живые существа, обладают этим свойством. Вторая проблема, возникающая при применении евклидовой геометрии к нашему миру, – это проблема размерности. Восприятие размерности может изменяться в зависимости от нашего расстояния от объекта. Мы увидим разницу между гладкостью евклидового мира и грубостью нашего мира, что ограничивает пригодность евклидовой геометрии как метода описания [2].

Противоречия между симметрией евклидовой геометрии и асимметрией реального мира могут быть далее продлены до нашего понятия времени. Так в науке сложилось, что события рассматриваются либо как случайные, либо как детерминирован-

ные. Во фрактальном времени случайность и детерминизм, хаос и порядок сосуществуют.

Время не имело значения в механике Ньютона. Теоретически время могло быть повернуто в обратную сторону, потому что уравнения Ньютона работали одинаково хорошо независимо от того, шло ли время вперед или назад. В то же время такой процесс, как смешение жидкостей зависит от времени и необратим. В термодинамике стрелка времени указывает только в будущее.

Появление квантовой механики подорвало детерминистическое представление о вселенной. Но все еще оставалось сомнение: вселенная детерминирована или случайна? Постепенно стало очевидным, что самые естественные системы характеризуются локальной случайностью и глобальным детерминизмом. Эти противоположные состояния должны сосуществовать. Детерминизм даст нам закон природы, в котором случайность привносит новшество и разнообразие. Здоровая, развивающаяся система – это та, которая не только может

пережить случайные удары, но также может поглотить такие удары, чтобы улучшить всю систему, когда это станет целесообразным.

В науке хаоса и фракталов случайность и необходимость сосуществуют. В этих системах энтропия высока, но никогда не достигает максимального состояния беспорядка из-за глобального детерминизма. Хаотические системы экспортируют свою энтропию или «рассеивают» ее, аналогично тому, как механические устройства рассеивают часть своей энергии как трение.

Игра хаоса показывает, что локальная случайность и глобальный детерминизм могут сосуществовать, чтобы создать стабильную, самоподобную структуру, которую и называют фракталом.

Бенуа Мандельброт, отец фрактальной геометрии, не сформулировал точного определения фрактала. Приведем фрактальные множества Б. Мандельброта и Г. Жюлиа, полученные из разработанной нами программы.

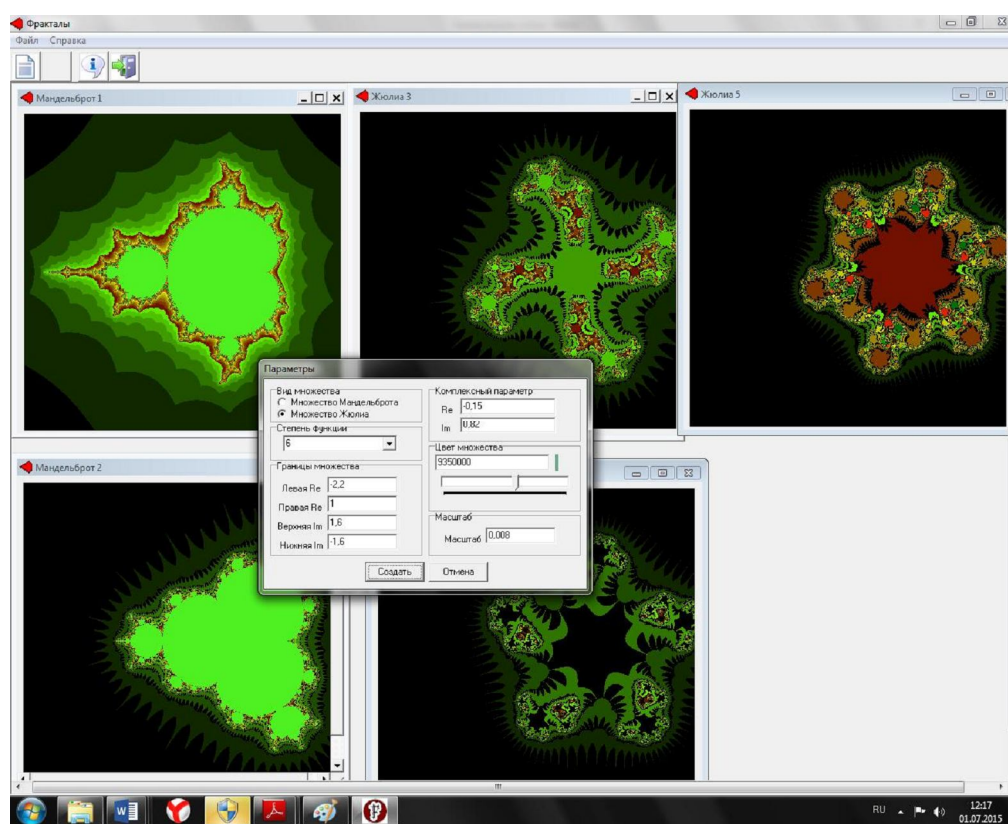


Рис. 1. Фракталы

Фракталы имеют определенные особенности, которые измеримы, и свойства, которые являются желательными для целей моделирования. Первое свойство – самоподобие. Оно означает, что части в некотором роде связаны с целым. Это свойство самоподобия делает фрактал масштабно-инвариантным. Фрактальные зависимости имеют вид прямой на графиках, где обе оси

имеют логарифмический масштаб. Модели, описываемые таким образом, должны использовать степенную зависимость (вещественное число, возведенное в степень). Эта особенность масштабирования по степенному закону является вторым свойством фракталов, фрактальной размерностью, которая может описывать либо физическую структуру, либо временной ряд.

$$D = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln N(\delta)}{\ln(\frac{1}{\delta})}. \quad (1)$$

Фрактальная размерность  $D$  характеризует то, как предмет заполняет пространство. Фрактальная размерность временного ряда измеряет, насколько изрезанным является временной ряд.

Фрактальная размерность временного ряда важна, потому что она признает, что процесс может быть где-то между детерминистическим (линия с фрактальной размерностью 1) и случайным (фрактальная размерность 1,5). Фактически, фрактальная размерность линии может находиться в пределах от 1 до 2. При значениях  $1,5 < u < 2$  временной ряд более зазубрен, чем случайная последовательность, или имеет больше инверсий. Само собой разумеется, статистика временного ряда с фрактальными размерностями, отличными от 1,5, сильно отличалась бы от гауссовой статистики и не обязательно находилась бы в пределах нормального распределения.

Существуют несколько подходов к определению фрактальной размерности:

- 1) клеточная размерность;
- 2) поточечная размерность;
- 3) корреляционная размерность;
- 4) информационная размерность.

**Клеточная размерность.** Используется при исследовании размерности линий и площади с фрактальной природой.

Ее суть заключается в том, что линия или площадь накрывается сеткой с размером ячейки  $\delta$ . Затем подсчитывается количество клеток  $N(\delta)$ , накрывающих исследуемую линию (или площадь). Далее величина  $\delta$  несколько раз уменьшается, и для каждого нового значения  $\delta$  определяется соответствующее количество клеток  $N(\delta)$ . На рисунке 2 приведена иллюстрация этого процесса.

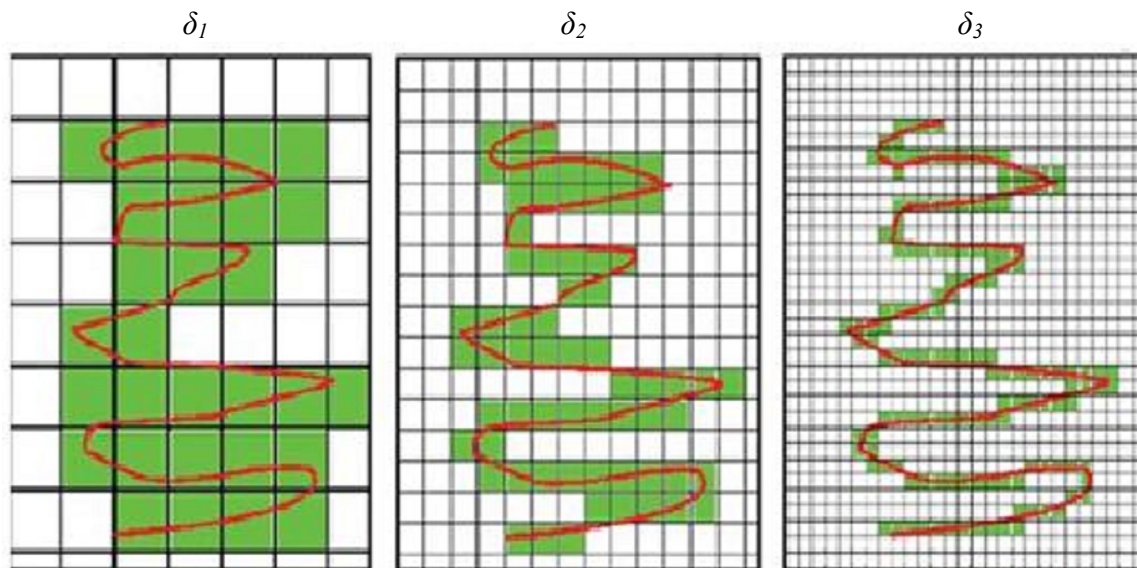


Рис. 2. Покрытие кривой линии клетками с различными размерами  $\delta$

В результате этого получаем несколько пар значений  $(N(\delta), \delta)$ , для которых вычисляем логарифмы.

Теперь построим систему координат в двойном логарифмическом масштабе

$\lg N(\delta)$   $\lg \delta$  и нанесем точки с координатами  $[\lg N(\delta), \lg \delta]$  на плоскости. Проведем прямую линию через эти точки, как показано на рисунке 3.

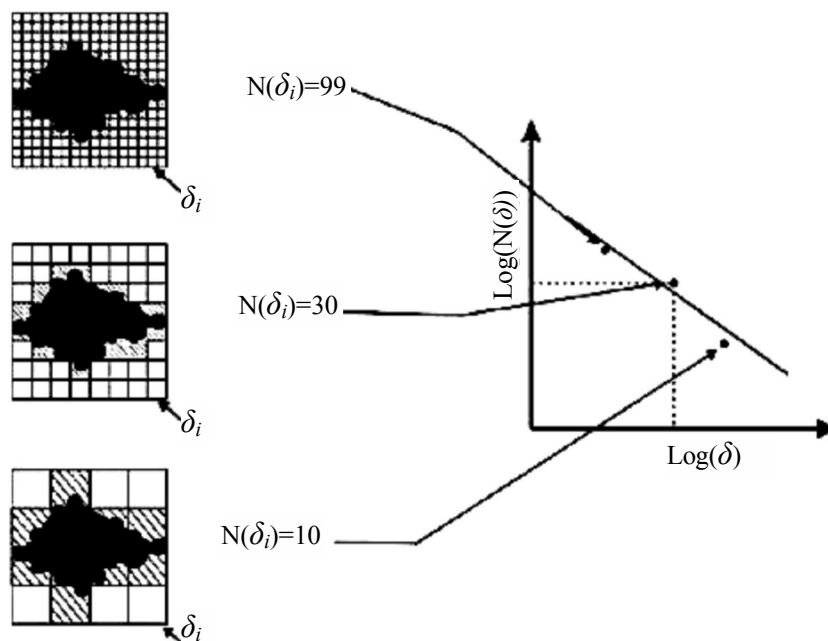


Рис. 3. Построение системы координат с двойным логарифмическим масштабом

Далее определим угол наклона этой линии  $\alpha$ , как показано на рисунке 4. Кле-

точная фрактальная размерность  $D$  представляется выражением:  $D = \text{tg } \alpha$ .

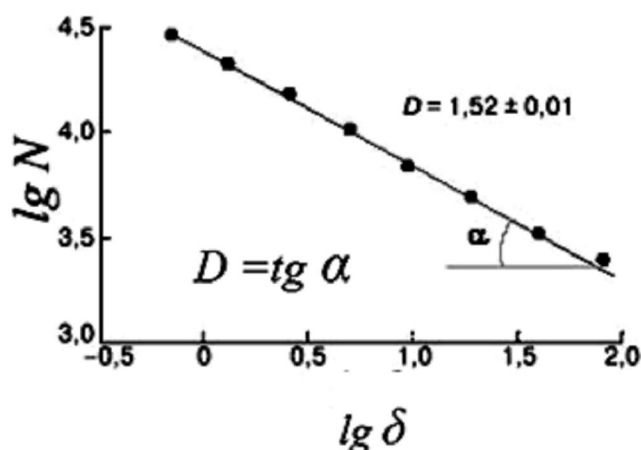


Рис. 4. Определение клеточной фрактальной размерности по наклону прямой линии

**Поточечная (фрактальная) размерность.** Рассмотрим какую-нибудь траекторию в фазовом пространстве на протяжении длительного времени (рис. 5).

Проведем выборку точек на траектории (достаточно большое число  $N_0$ ) произвольным образом. Опишем вокруг какой-

нибудь точки  $x_0$  на траектории сферу диаметра  $\delta$  (или куб с ребром  $\delta$ ) и подсчитаем число выборочных точек, попавших внутрь сферы.

Вероятность того, что выборочная точка окажется внутри сферы, определяется выражением:

$$P(\delta) = \frac{N(\delta)}{N_0}. \tag{2}$$

где  $N_0$  – общее число точек на траектории.

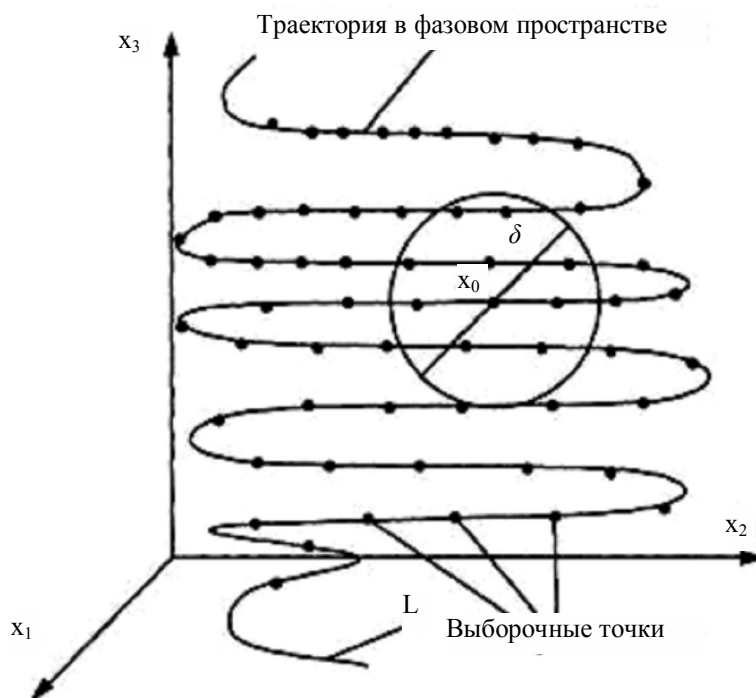


Рис. 5. Геометрические построения для нахождения поточной (фрактальной) размерности

Размерность траектории для некоторой области точек  $X^{(i)}$  фазового пространства имеет вид:

$$d_{fp} = \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\ln P(\delta, x^{(i)})}{\ln(\delta)}. \quad (3)$$

После небольших преобразований формулу (3) можно привести к формуле (1).

**Корреляционная (фрактальная) размерность** широко используется для определения меры упорядоченности движений и является нижней оценкой хаусдорфовой размерности странного аттрактора.

Фрактальный анализ способствовал появлению новых научных дисциплин и подходов оценки функционирования различных систем. Теория хаоса и фрактальная статистика предлагают нам новый способ понимания того, как функционируют рынки и экономики. Нет гарантий того, что нам будет легче зарабатывать деньги, но, тем не менее, мы будем более приспособлены к разработке стратегий и оценке рисков.

Нестационарные временные ряды можно разделить по типу нестационарности на три достаточно общих класса [1; 3; 4]:

- ряды, нестационарные в малом, когда сохраняется закон распределения или его основные параметры, а меняется математическое ожидание или дисперсия;
- ряды, нестационарные в большом, когда меняется, например, закон распределения;
- существенно нестационарные ряды, когда не только меняется закон распределения случайной величины, но и не существует аналитического представления тренда временного ряда, т.е. его невозможно выделить в виде функциональной зависимости. К этому классу временных рядов относятся многие экономические времен-

ные ряды, для которых характерна схема определяющего случайный процесс частичного управления и частая смена плекса условий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ахметханов Р.С. Применение теории фракталов в исследовании динамических свойств механических систем // Проблемы машиностроения и автоматизация. – 2003. – № 3. – С. 47–53.
2. Кроновер Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах. – М., 2000.
3. Полякова М.В., Любченко В.В. Структурный анализ временных рядов со скачками среднего значения // Оптимизация управления, информационные системы и компьютерные технологии: Труды Украинской академии экономической кибернетики (Южный научный центр). Киев; Одесса, 1999. – Вып. 1. – Ч. 1. – С. 174–179.
4. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. – М., 2005.

#### REFERENCES

1. Akhmethanov, R.S. Primeneniye teorii fraktalov v issledovanii dinamicheskikh svoystv mekhanicheskikh sistem [Applying fractal theory in the study of dynamic properties of mechanical systems] // Problemy mashinostroyeniya i avtomatizatsii. 2003. №. 3. P. 47–53. (In Russian).
2. Crownover, R.M. Fraktaly i khaos v dinamicheskikh sistemakh [Fractals and chaos in dynamical systems]. Moscow, 2000. (In Russian).
3. Polyakova, M.V., Lyubchenko, V.V. Strukturny analiz vremennykh ryadov so skachkami srednego znacheniya [Structural analysis of time series with average jumps] // Optimizatsiya upravleniya, informatsionniye sistemy i komputerniye tekhnologii: Trudy Ukrainской ekonomicheskoy kibernetiki (Yuzhny nauchny tsentr). Kiev; Odessa, 1999. Vol. 1. Part 1. P. 174–179. (In Russian).
4. Potapov, A.A. Fraktaly v radiofizike i radiolokatsii: Topologiya vyborki [Fractals in radiophysics and radiolocation: Sampling topology]. Moscow, 2005. (In Russian).

*T.B. Kaziakhmedov*  
Nizhnevartovsk, Russia

### FRactal Analysis and Problem-Solving to Identify The Characteristics of Time Series in System Diagnosis

**Abstract.** Fractal analysis is required when solving the problems of system diagnostics associated with time-series parameter changes. There is no economy sector that does not use algorithms based on the fractal analysis theory. However, this theory has long been given little attention and value. The conflict between the symmetry of Euclidean geometry and asymmetry of the real world can be further extended to our modern concept of time. Traditionally, all the events are treated as either random or deterministic. In fractal time, randomness and determinism, chaos and order are coexistent. This is also true for natural systems characterized by local randomness and global determinism. We have studied both linear and nonlinear fractals and analyzed the use of fractal analysis in such tasks as market assessment, assessment of oil companies, and complex system assessment tasks.

Our program of Fractal Sets demonstrates the beauty of fractal patterns and the fractals' property of self-similarity and enables obtaining Julia and Mandelbrot sets of different degrees. The program also allows us to study the behavior of fractal patterns in case of complex C constant changes and obtain complex point data of these sets.

It is worth noting that the application of fractal analysis is more interesting and practical when using MatLab and SkiLab(Silab) packages with appropriate fractal analysis modules. We have developed software fractal analysis modules using character-coded mathematic packages indicated above. Moreover, we have developed software modules for building various types of fractals and fractal diagrams. Such solutions are topical in almost all relevant bachelor and master programs.

The program of Fractal Sets used C++ programming language and received a Software Application State Registration Certificate.

**Keywords:** fractal; fractal geometry; fractal analysis; time series.

**About the author:** Tufik Bagautdinovich Kaziakhmedov, Associate Professor at the Department of Computer Science and Methods of Teaching Computer Science.

**Place of employment:** Nizhnevartovsk State University.

УДК 51.007.004

А.А. Копыльцов  
Санкт-Петербург, Россия

## ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ СЛАБО ФОРМАЛИЗОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ И ЕГО ПРИЛОЖЕНИЯ

**Аннотация.** Предлагается применение обобщенного алгоритма обработки слабо формализованной информации, поступающей от датчиков, для обеспечения безопасного движения автотранспорта. Под слабо формализованной понимается информация, которая не может быть загружена на компьютер и/или не может обрабатываться на компьютере без предварительной обработки, которая и называется формализацией информации. Поступающие с датчиков данные часто являются слабо формализованной информацией. Требования, предъявляемые к системам обработки подобной информации, следующие: системы обработки слабо формализованной информации должны из слабо формализованной информации, путем ее переработки, получать формализованную информацию, которую можно обрабатывать на компьютере. Для обработки слабо формализованной информации предложен обобщенный алгоритм, который может быть использован для обработки информации в различных технических системах. Одним из таких приложений может быть безопасное движение автотранспорта. Предполагается, что на автомобилях установлены датчики в различных диапазонах (например, видеодатчики, звуковые и ультразвуковые датчики), с которых поступает информация о препятствиях, находящихся на пути движения автомобиля (постройках, деревьях, других транспортных средствах, людях, животных и т.д.). Недостаток информации может проявляться в том, что одно препятствие может заслонять другое, например, человек может находиться за машиной вне зоны видимости. Задача состоит в том, чтобы не произошло столкновения машины с каким-либо препятствием (другая машина, здание, человек, животное и др.). Для этого существуют два параметра: скорость и направление движения автомобиля. В случае уменьшения расстояния между автомобилем и другим автомобилем или каким-либо препятствием, автомобиль может изменить либо направление движения, либо скорость. Изменяя скорость и направление движения, можно добиться безопасного движения автомобиля. В качестве примера рассмотрено движение машин через Т-образный перекресток. Показано, что применение обобщенного алгоритма позволяет повысить безопасность движения автотранспорта.

**Ключевые слова:** слабо формализованная информация; алгоритм; обработка информации; безопасность движения автотранспорта.

**Сведения об авторе:** Антон Александрович Копыльцов, старший преподаватель кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПб ГЭТУ «ЛЭТИ».

**Место работы:** Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПб ГЭТУ «ЛЭТИ»).

**Контактная информация:** 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Лизы Чайкиной, д. 18, кв. 8; тел: 8-921-4019427. E-mail: kopyl2001@mail.ru.

### Введение

В последнее время много работ посвящено обработке слабо формализованной информации [3–22]. Под слабо формализованной понимается информация, которая не может быть загружена на компьютер и/или не может обрабатываться на компьютере без предварительной обработки, которая и называется формализацией информации [2]. Поступающие с датчиков данные часто являются слабо формализованной информацией. Требования, предъявляемые к системам обработки подобной информации, следующие: системы обработки слабо формализованной информации должны из сла-

бо формализованной информации, путем ее переработки, получать формализованную информацию, которую можно обрабатывать на компьютере. Для обработки слабо формализованной информации предложен обобщенный алгоритм [4; 6; 7; 10], который может быть использован для обработки информации в различных технических системах. Одним из таких приложений может быть безопасное движение автотранспорта.

### Безопасное движение автотранспорта

Предполагается, что на автомобилях установлены датчики в различных диапазо-

нах (например, видеодатчики, звуковые и ультразвуковые датчики). Если погода хорошая, то видеодатчики позволяют хорошо наблюдать обстановку в окружении автомобиля. Если же погода плохая (туман, снег, дождь и т.д.), то видеодатчики с этой задачей могут не справиться, а совместная работа видео- и аудиодатчиков может привести к желаемому результату. С этих датчиков поступает информация о препятствиях, которые находятся на пути движения автомобиля (постройках, деревьях, других транспортных средствах, людях, животных и т.д.). Недостаток информации может проявляться в том, что одно препятствие может заслонять другое, например, человек может находиться за машиной вне зоны видимости.

Задача состоит в том, чтобы не произошло столкновения машины с каким-нибудь препятствием (другая машина, здание, человек, животное и др.). Для этого существуют два параметра: скорость и направление движения автомобиля. В случае уменьшения расстояния между одним автомобилем и другим автомобилем или каким-либо препятствием автомобиль может изменить либо направление движения, либо скорость. Изменяя скорость и направление движения, можно достичь безопасного движения автомобиля.

### Приложения обобщенного алгоритма

Применим обобщенный алгоритм обработки слабо формализованной информации [4; 6; 7; 10].

Этап 1. Информация, которая собирается с различных датчиков, поступает в модуль «Сбор информации». В нашем случае это могут быть видео-, аудио-, ультразвуковые и другие датчики, которые установлены на машинах.

Этап 2. Информация из модуля «Сбор информации» поступает в модуль «Распознавание информации». В нашем случае машины распознаются по видео-, аудио- и ультразвуковым датчикам.

Этап 3. Из модуля «Распознавание информации» информация поступает в модуль «Классификация информации», где осуществляется ее классификация по классам ( $n$  – количество классов). В нашем случае имеем видеoinформацию (первый класс), аудиoinформацию (второй класс), ультразвуковую информацию (третий класс), а также их сочетания: видео-аудиоинформацию (четвертый класс), видео-ультразвуковую информацию (пятый класс), аудио-ультразвуковую информацию (шестой класс) и видео-аудио-ультразвуковую информацию (седьмой класс), т.е.  $n = 7$ .

Этап 4. В каждом из  $n = 7$  модулей «Свертка информации» информация проходит свою, характерную для данного класса, обработку по определенному алгоритму [1; 23; 24]. В нашем случае (например, когда рассматриваем две машины) считаем, что свертка – среднее расстояние между двумя машинами за некоторый промежуток времени. В итоге получаем для каждой двух машин среднее расстояние между ними за некоторый промежуток времени.

Этап 5. Оценивание достоверности информации в модулях «Оценивание достоверности информации». Предполагается, что ранее была проведена серия экспериментов (например, при пересечении машинами перекрестка), в результате которых было выявлено, что среднее расстояние  $H_{spi}$  между каждыми двумя машинами

$$H_{min} \leq H_{spi} \leq H_{max}$$

где  $i$  – номер пары машин,  $N$  – всего пар машин,  $H_{min}$ ,  $H_{max}$  – минимальное и максимальное значение (определяется на основании предыдущих экспериментов). Если  $H_{min} \leq H_{новаяi} \leq H_{max}$  для всех  $i$ , то информация достоверная. Если это верно для  $NI$  пар машин, то достоверность равна  $NI/N$ .

Этап 6. Оценивание безопасности информации в каждом из  $n$  классов происходит в модулях «Оценивание безопасности информации». Проверяем  $N-NI$  пар машин,

где  $H_{mini} > H_{новая_i}$  и/или  $H_{новая_i} > H_{maxi}$ . Возможны варианты: это либо неисправность системы, или так и должно быть. Прогоняем старый тестовый вариант. Если он дает правильные результаты, то  $H_{mini}$  и/или  $H_{maxi}$  корректируются. Если же нет, то эта конкретная пара машин работает неправильно (например, водитель пьяный). Выявляем число неправильно работающих пар машин  $N2$ , и тогда безопасность равна  $(N-N2)/N$ .

Этап 7. Установление связей между недавно полученной информацией в каждом из  $n$  классов и прежде полученной информацией происходит в модулях «Установление связей». Новая информация – набор усредненных расстояний между парами машин в какой-то момент (промежуток) времени. Сравниваем этот набор с наборами, хранящимися в памяти, и ищем наиболее близкий (минимизируем среднее квадратичное отклонение). Если задать некоторый интервал  $\Delta$ , то в него может попасть несколько старых вариантов. Число таких вариантов (связей) пусть будет равно  $M$ .

Этап 8. В модулях «Оценивание вероятности» происходит оценивание вероятности, с которой можно доверять поступившей информации в каждом из  $n$  классов. В нашем случае: если  $M \geq M^*$ , где  $M^*$  задано, то  $P = 1$ . В противном случае переходим на этап «Распознавание информации». Пусть, например,  $M^* = 1$ , и  $M = 2$ . Тогда  $M \geq M^*$  и, следовательно,  $P = 1$ .

Этап 9. В модулях «Поддержка принятия решений» происходит поддержка принятия решений в каждом из  $n$  классов. Это происходит следующим образом. Если выполнены следующие условия:

- достоверность поступающей слабо формализованной информации  $I_{дпи} > I_{дпи}^*$  для некоторого  $I_{дпи}^*$ ;
- безопасность поступающей слабо формализованной информации  $I_{бпи} > I_{бпи}^*$  для некоторого  $I_{бпи}^*$ ;
- число связей  $M > M^*$  для некоторого  $M^*$ ;

▪ вероятность, с которой можно доверять вновь полученной слабо формализованной информации  $P > P^*$  для некоторого  $P^*$ , то эта новая поступающая информация включается в хранилище для данного класса.

Нормируем число связей  $M$  следующим образом

$$M^N = \frac{M}{M_{max}}$$

где  $M^N$  – нормированное значение  $M$ ,  $M_{max}$  – максимальное значение  $M$ .

Таким образом, достоверность поступающей информации  $I_{дпи}$ , безопасность поступающей информации  $I_{бпи}$ , нормированное число связей  $M^N$ , вероятность, с которой можно доверять вновь полученной информации  $P$ , находятся в промежутке от 0 до 1, т.е.  $0 \leq I_{дпи} \leq 1$ ,  $0 \leq I_{бпи} \leq 1$ ,  $0 \leq M^N \leq 1$ ,  $0 \leq P \leq 1$ .

Для того, чтобы новую поступающую информацию включить в модуль «Хранилище» для данного класса, нужно, чтобы выполнялись неравенства

- $I_{дпи} > I_{дпи}^*$  для некоторого  $I_{дпи}^*$ ;
- $I_{бпи} > I_{бпи}^*$  для некоторого  $I_{бпи}^*$ ;
- $M^N > M^{N*}$  для некоторого нормированного  $M^{N*}$ ;
- $P > P^*$  для некоторого  $P^*$ .

В нашем случае информацию (набор средних расстояний между парами машин в некоторый момент (промежуток) времени) включаем в модуль «Хранилище», поскольку все 4 условия выполнены.

Этап 10. В модуле «Обобщенная поддержка принятия решений» проводится сбор сгенерированных решений из  $n$  классов и после этого на их основе осуществляется генерация новой совокупности решений. В нашем случае имеем видеодатчики, аудиодатчики и ультразвуковые датчики (т.е. датчики трех видов). То есть нашу новую информацию (набор средних расстояний между парами машин в некоторый момент (промежуток) времени) включаем в модуль «Хранилище».

Этап 11. Сравнение недавно принятого решения с ранее принятыми решениями

происходит в модуле «Определение числа связей». Определение числа связей, подтверждающих правильность принятого решения, осуществляется следующим образом. При поступлении новой информации в модуль «Хранилище» осуществляется ее свертка  $C_N$  и сравнение со свертками ( $C_1, C_2, \dots, C_k$ ) ранее полученной информации, хранящимися в модуле «Хранилище», следующим образом. Если  $\delta_i = |C_N - C_i| < \varepsilon$  для некоторого  $i \in \{1, 2, \dots, k\}$  и некоторого  $\varepsilon > 0$ , то считаем, что новая информация с номером  $N$  и старая информация с номером  $i$  между собой связаны. После установления связей считаем число этих связей  $MM$ . Если  $MM > MM^*$  для некоторого  $MM^*$ , то считаем, что вероятность правильности принятого решения  $P = 1$ . В противном случае  $P < 1$ . В нашем случае (на основе предыдущего)  $P = 1$ .

Этап 12. В модуле «Выработка устойчивой реакции» происходит выработка устойчивой реакции на неоднократно поступающую информацию и ее запоминание. Если для некоторого  $\varepsilon > 0$  среднее квадратичное отклонение между новым вариантом и несколькими старыми вариантами меньше  $\varepsilon$ , то считается, что эти фрагменты информации (набор средних расстояний между парами машин в некоторый момент (интервал) времени) образуют устойчивую информацию, и их записываем в хранилище с индексом «устойчивая»  $I_{уи}$ .

Этап 13. В модуле «Генерация решений» генерируются решения. Собираем в модуле «Хранилище» все фрагменты информации с индексом «устойчивая». Рассмотрим сеть связей в модуле «Хранилище» для набора устойчивой информации  $I_{уи_i}, i=1, \dots, n$ . Если между фрагментами информации с номерами  $i$  и  $j$  имеется  $C_{ij}$  связей и  $C_{ij} > C^*$ , где  $C^*$  – некоторое число, то считаем, что фрагменты информации с номерами  $i$  и  $j$  связаны непосредственно (уровень связности  $C_{ij}$ ).

Этап 14. В модуле «Хранилище» на основе информации, которая записана по-

следней, и ранее записанной информации генерируется новая информация. Сведения о том, что фрагменты информации с номерами  $I_i$  и  $I_j$  связаны, могут рассматриваться, как новая информация с номером  $I_k$ , и ее можно направить на этап «Сбор информации» с целью распознавания, классификации информации и т.д. Это означает, что если фрагмент информации с номером  $I_i$  определяется показателями  $i_1, i_2, \dots, i_{i1}$ , а фрагмент информации с номером  $I_j$  – показателями  $j_1, j_2, \dots, j_{j1}$ , то фрагмент информации с номером  $I_k = I_{i \cup j}$  определяется показателями  $i_1, i_2, \dots, i_{i1}, j_1, j_2, \dots, j_{j1}$ , представляющими собой объединение показателей, которыми определяются фрагменты информации с номерами  $I_i$  и  $I_j$ . Это означает, что свертка в дальнейшем делается по показателям  $i_1, i_2, \dots, i_{i1}, j_1, j_2, \dots, j_{j1}$ . В нашем случае объединяем две совокупности двух экспериментов и вычисляем в каждом случае средние значения, т.е. это означает, что такой вариант средних значений тоже возможен. Это новая информация, которую можно переслать на вход в систему (в модуль «Сбор информации») и прогнать аналогично. В итоге можно вычислить среднее значение по всем парам машин, дисперсию и среднее квадратичное отклонение. Таким образом, если среднее значение достаточно мало, а дисперсия велика, то нужно изменять режим движения (например, изменять скорость при пересечении перекрестка (установить соответствующие знаки)). Через некоторый интервал времени (когда часть машин пересечет перекресток) снова вычисляем среднее значение (математическое ожидание). Снова изменяем режим движения (например, через перекресток), и т.д.

#### **Движение через Т-образный перекресток.**

Рассмотрим, например, Т-образный перекресток (рис. 1).

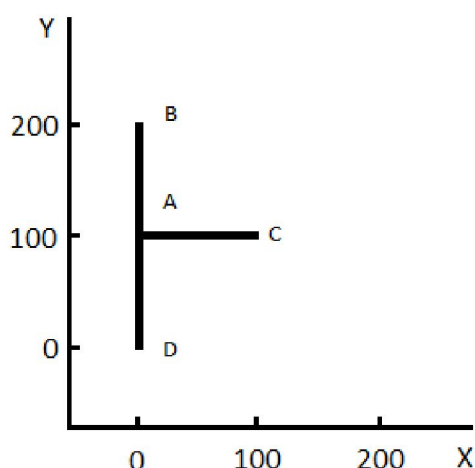


Рис. 1. Перекресток трех дорог АВ, АС, АД в системе координат (X, Y)

Если рассмотреть две машины, которые движутся из пунктов В и D через перекресток А, то возможны варианты: первая машина – маршруты ВАС и ВAD, вторая машина – маршруты DAB и DAC. Причем, если интервал времени между прохождением перекрестка больше некоторого  $\Delta$ , то они пройдут его, не изменяя скорости. Если же нет, то возможны варианты: маршруты ВAD и DAC (машины разойдутся), маршруты ВAD и DAB (машины разойдутся), маршруты ВАС и DAC (машины не разойдутся, если не изменят скорость), маршруты ВАС и DAB (машины не разойдутся, если не изменят скорость). Проводим несколько экспериментов с различными вариантами движения и запоминаем условия и результаты экспериментов (скорости и направления движения, успешно ли пересекли перекресток и т.д.). В итоге, на основе запомненной информации формируются интервалы скоростей, при которых возможны аварийные ситуации на дороге и при которых невозможны.

Если в следующий раз возникает похожая ситуация (например, к перекрестку приближаются две машины со скоростями  $V_1$ ,  $V_2$ ), то рассматриваются интервалы, выбирается наиболее близкий вариант и

генерируются рекомендации об изменении (или не изменении) скорости. В случае необходимости интервалы корректируются. Однако, хотя и генерируются рекомендации об изменении скорости, машины могут: изменить скорость на ту величину, которая рекомендуется; изменить скорость на другую величину; не изменять скорость. В любом случае в память записывается полная информация о результатах пересечения перекрестка машинами.

В качестве примера рассмотрим вариант, когда скорость первой машины  $V_1 = 10$  м/с (36 км/ч) и она движется по маршруту ВАС, а вторая машина со скоростью  $V_2$  движется по маршруту DAB. Предполагается, что  $AB = AC = AD = 100$  м. В этом случае первая машина пересечет перекресток через 10 с. Тогда, проводя эксперименты, т.е. запуская вторую машину с различными скоростями, получим следующие экспериментальные данные (табл. 1). Например, пусть первая машина движется по маршруту ВАС со скоростью 10 м/с, а вторая – по маршруту DAB со скоростью 20 м/с. Тогда координаты машин и расстояние между ними будут следующие (табл. 2, рис. 2).

Таблица 1

## Скорости и время прохождения перекрестка

№	Скорость второй машины $V_2$ (м/с)	Время прохождения перекрестка А (с)	Возможность столкновения
1	2	50,00	
2	4	25,00	
3	6	16,67	
4	8	12,50	
5	10	10,00	Возможно столкновение
6	12	8,33	
7	14	7,14	
8	16	6,25	
9	18	5,55	
10	20	5,00	

Поскольку машины представляют собой не материальные точки, а имеют размеры, и в целях безопасности можно взять, например, интервал для времени  $(t_0 - t^*, t_0 + t^*)$ , в течение которого может сложиться опасная ситуация на дороге, где  $t_0$  – время пересечения курсов машин, например,  $t^* = 3$  с. Тогда интервалы опасных скоростей (при которых возможна аварийная ситуация на

дороге) будут для перекрестка А следующие:

$$t \in (10 - 3 \text{ с}; 10 + 3 \text{ с}) = (7 \text{ с}; 13 \text{ с}),$$

$$V_1 = 10 \text{ м/с}, V_2 \in (8 \text{ м/с}; 14 \text{ м/с}).$$

Это означает, что если скорость  $V_2$  принадлежит этому интервалу, то при приближении к перекрестку рекомендуется ее изменить в целях обеспечения безопасности движения.

Таблица 2

## Координаты машин и расстояние между ними

Время (с)	Координаты первой машины (м)	Координаты второй машины (м)	Расстояние между машинами (м)	Комментарии
0,00	(0,0; 200,0)	(0,0; 0,0)	200,00	
5,00	(0,0; 150,0)	(0,0; 100,0)	50,00	
6,67	(0,0; 133,34)	(0,0; 133,34)	0,0	Машины встречаются
10,00	(0,0; 100,0)	(0,0; 200,0)	100,00	
15,00	(50,0; 100,0)	(0,0; 300,0)	206,16	
20,00	(100,0; 100,0)	(0,0; 400,0)	316,23	
25,00	(150,0; 100,0)	(0,0; 500,0)	427,20	

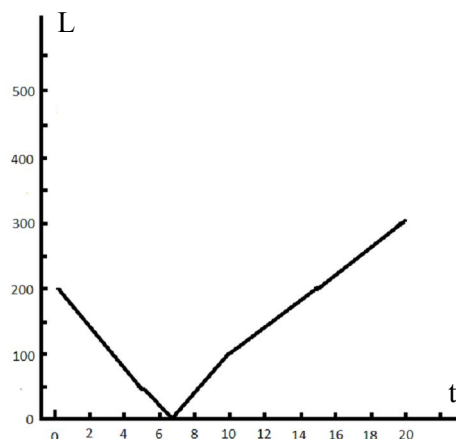


Рис. 2. Изменение расстояния (L, м) между двумя машинами с течением времени (t, с)

Рассматриваем различные варианты (проводим эксперименты) и запоминаем их. Запомненные варианты обрабатываем, т.е. получаем некоторые интервалы скоростей, при которых возможна аварийная ситуация на дороге. Если возможна аварийная ситуация, то одна из машин должна изменить скорость на некоторую величину, чтобы избежать аварии. Эту информацию можно рассматривать, как новую информацию. В случае проведения нового эксперимента, например,  $V_1 = 12$  м/с,  $V_2 = 11$  м/с, определяем, принадлежит ли скорость  $V_2$  опасному интервалу (8 м/с; 14 м/с). Поскольку  $V_2 = 11$  м/с принадлежит опасному интервалу, то не рекомендуется с такой скоростью ехать через перекресток А. То есть одна из машин должна изменить скорость при подъезде к перекрестку, чтобы избежать аварийной ситуации. Аналогично, проводя следующие эксперименты, о каждом эксперименте информацию сохраняем в памяти. В случае необходимости границы опасных интервалов корректируются.

### Заключение

Предложено применение обобщенного алгоритма обработки слабо формализованной информации к задаче безопасного движения автотранспорта, в частности, через Т-образные перекрестки. Для более сложных ситуаций, например, когда к перекрестку приближается несколько машин с различными скоростями, все делается аналогично:

– Вся информация о пересечении перекрестка сохраняется и накапливается (например, можно определять скорость машин за 100, 200, 300 и т.д. метров от перекрестка);

– На основе накопленной информации генерируются безопасные и опасные интервалы скоростей для каждой машины;

– В случае рассмотрения нового варианта пересечения перекрестка определяются интервалы скоростей, в которые попадают скорости машин, приближающихся к перекрестку;

– Если интервалы не опасные, то изменение скоростей не происходит;

– Если интервалы опасные, то в памяти осуществляется поиск ближайшего неопасного варианта, т.е. такого варианта, чтобы изменение скоростей было минимальным;

– Новый сценарий пересечения перекрестка записывается в память;

– Если необходимо, то происходит коррекция интервалов скоростей;

– Далее происходит ожидание следующего пересечения машинами перекрестка и т.д.

Таким образом, применяя обобщенный алгоритм, можно получить на выходе некоторые рекомендации по поддержке принятия решений, в частности, определить, кому, по какому маршруту и с какой скоростью перемещаться. Аналогичная ситуация наблюдается в железнодорожном, речном и морском транспорте, где также можно применять обобщенный алгоритм.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев В.И., Копыльцов А.В., Пальчун Б.П., Юсупов Р.М. Методы и модели оценивания качества программного обеспечения. – СПб., 1992.
2. Воройский Ф.С. Информатика. Энциклопедический словарь-справочник: введение в современные информационные и телекоммуникационные технологии в терминах и фактах. – М., 2011.
3. Копыльцов А.А. Алгоритм коррекции связей между фрагментами слабо формализованной информации и генерация новой информации // Вестник Нижневартковского гос. ун-та. – 2014. – № 3. – С. 28–34.
4. Копыльцов А.А., Копыльцов А.В. Алгоритм обработки слабо формализованной информации, поступающей от технических систем // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (известия государственного электротехнического университета). Серия «Информатика, управление и компьютерные технологии». – 2012. – № 8. – С. 30–36.

5. Копыльцов А.А., Копыльцов А.В. Качественная и количественная слабо формализованная информация и ее обработка // Материалы XIV Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика – 2014» (29–31 октября 2014 г.). – СПб., 2014. – С. 557.
6. Копыльцов А.А., Копыльцов А.В. Обобщенный алгоритм обработки слабо формализованной информации и его применение // Вестник Нижневартковского гос. ун-та. – 2014. – № 35. – С. 35–44.
7. Копыльцов А.А., Копыльцов А.В. Обработка слабо формализованной информации, поступающей от технических систем // Вестник Нижневартковского гос. гуманитар. ун-та. – 2013. – № 1. – С. 32–36.
8. Копыльцов А.А., Копыльцов А.В. Технические системы и слабо формализованная информация // Материалы XIII Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика – 2012» (24–26 октября 2012 г.). – СПб., 2012. – С. 375.
9. Копыльцов А.А., Копыльцов А.В. Цифровой образовательный ресурс «Краткая история моделирования» и его применение в учебном процессе // Материалы сетевой международной научно-практической конференции «Электронное обучение в вузе и школе» (16–19 апреля 2014 г.). – СПб., 2014. – С. 153–155.
10. Копыльцов А.А. Модель классификации информации и алгоритм ее предварительной обработки для статических и динамических объектов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» (известия государственного электротехнического университета). Серия «Информатика, управление и компьютерные технологии». – 2013. – № 6. – С. 134–139.
11. Копыльцов А.А. Обработка информации в живых и технических системах // Материалы XIII Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика – 2012» (24–26 октября 2012 г.). – СПб., 2012. – С. 373–374.
12. Копыльцов А.А. Обработка слабо формализованной информации в живых и технических системах // Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, магистров, аспирантов «Современное программирование» (16–17 апреля 2014 г.). – Нижневартковск, 2014. – С. 117–121.
13. Копыльцов А.А. Обработка слабо формализованной информации при недостатке информации // Материалы XIII Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика – 2012» (24–26 октября 2012 г.). – СПб., 2012. – С. 374.
14. Копыльцов А.А. Особенности обработки слабо формализованной информации // Материалы XIV Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика – 2014» (29–31 октября 2014 г.). – СПб., 2014. – С. 555–556.
15. Копыльцов А.А. Понятие слабо формализованной информации и особенности ее обработки // Материалы сетевой международной научно-практической конференции «Электронное обучение в вузе и школе» (20–24 апреля 2015 г.). – СПб., 2015. – С. 140–144.
16. Копыльцов А.А. Применение обобщенного алгоритма обработки слабо формализованной информации для управления неравновесной химической реакцией // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 1. – Ч. 2. – URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2812](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2812).
17. Копыльцов А.А. Программа для обработки слабо формализованной информации, поступающей от технических систем // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013617310. Правообладатель: ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им В.И. Ульянова (Ленина)» (СПб ГЭТУ «ЛЭТИ»). Заявка № 2013615041. Дата поступления 19 июня 2013 г. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 08 августа 2013 г.
18. Копыльцов А.А. Слабо формализованная информация и алгоритмы ее обработки // Материалы XIV Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика – 2014» (29–31 октября 2014 г.). – СПб., 2014. – С. 556–557.
19. Копыльцов А.А. Сохранение конфиденциальности данных при поддержке принятия решений, на основе извлекаемой специальным образом информации // Материалы VIII Санкт-Петербургской межрегиональной конференции «Информационная безопасность регионов России» (23–25 октября 2013 г.). – СПб., 2013. – С. 104.
20. Копыльцов А.А. Цифровой образовательный ресурс «Обработка слабо формализованной информации в живых и технических системах» // Материалы сетевой международной научно-практической конференции «Электронное обучение в вузе и школе» (16–19 апреля 2014 г.). – СПб., 2014. – С. 151–153.
21. Копыльцов А.А., Нечитайленко Р.А. Кластерное атрибутивное описание объектов информационной обработки по понятийным частным и интегральным признакам // Материалы XII Санкт-Петербургской международной конференции «Региональная информатика – 2010» (20–22 октября 2010 г.). – СПб., 2010. – С. 49–50.
22. Копыльцов А.А., Нечитайленко Р.А. Обеспечение пороговой безопасности обработки слабо формализованной информации при распределенном управлении с целью принятия решений // Труды VII Санкт-Петербургской межрегиональной конференции «Информационная безопасность регионов России» (26–28 октября 2011 г.). – СПб., 2011. – С. 154–155.

23. Копыльцов А.В. Об оценке качества программных продуктов // Проблемы информатизации (теоретический и научно-практический журнал). – 1994. – Вып. 3–4. – С. 46–48.
24. Хованов Н.В. Статистические модели теории квалиметрических шкал. – Л., 1986.

#### REFERENCES

1. Vorobjev, V.I., Kopyltsov, A.V., Palchun, B.P., Yusupov, R.M. Metody i modeli otsenivaniya kachestva programmnoy obespecheniya [Methods and models of assessing software quality]. Saint Petersburg, 1992. (In Russian).
2. Vorobjev, F.S. Informatika. Entsiklopedicheskiy slovar-spravochnik: vvedenie v sovremennyye informatsionnyye i telekommunikatsionnyye tekhnologii v terminakh i faktakh [Computer science. Encyclopedic dictionary: introduction to modern information and communication technologies in terms of facts]. Moscow, 2011. (In Russian).
3. Kopyltsov, A.A. Algoritm korrektsii svyazey mezhdru fragmentami slabo formalizovannoy informatsii i generatsiya novoy informatsii [Algorithm for correcting the links between fragments of weakly formalized data and generation of new data]// Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 3. P. 28–34. (In Russian).
4. Kopyltsov, A.A., Kopyltsov, A.V. Algoritm obrabotki slabo formalizovannoy informatsii, postupayushvey ot tekhnicheskikh sistem [The algorithm for processing weakly formalized information from technical systems]// Izvestiya SPbGETU «LETI» (Izvestiya gosudarstvennogo elektrotehnicheskogo universiteta). Informatika, upravlenie i kompyuternyye tekhnologii. 2012. № 8. P. 30–36. (In Russian).
5. Kopyltsov, A.A., Kopyltsov, A.V. Kachestvennaya i kolichestvennaya slabo formalizovannaya informatsiya i ee obrabotka [Qualitative and quantitative weakly formalized information and its processing]// Materialy XIV Sankt-Peterburgskoy mezhdunarodnoy konferentsii “Regionalnaya informatika – 2014” (29–31 oktyabrya 2014 g.). Saint Petersburg, 2014. P. 557. (In Russian).
6. Kopyltsov, A.A., Kopyltsov, A.V. Obobshchennyy algoritm obrabotki slabo formalizovannoy informatsii i ego primeneniye [Generalized algorithm of processing weakly formalized information and application of such algorithm]// Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 35. P. 35–44. (In Russian).
7. Kopyltsov, A.A., Kopyltsov, A.V. Obrabotka slabo formalizovannoy informatsii, postupayushvey ot tekhnicheskikh sistem [Processing of weakly formalized information from the technical systems]// Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo gumanitarnogo universiteta. 2013. № 1. P. 32–36. (In Russian).
8. Kopyltsov, A.A., Kopyltsov, A.V. Tekhnicheskiye sistemy i slabo formalizovannaya informatsiya [Technical systems and weakly formalized information]// Materialy XIII Sankt-Peterburgskoy mezhdunarodnoy konferentsii «Regionalnaya informatika – 2012» (24–26 oktyabrya 2012 g.) Saint Petersburg, 2012. P. 375. (In Russian).
9. Kopyltsov, A.A., Kopyltsov, A.V. Tsifrovoy obrazovatelnyy resurs «Kratkaya istoriya modelirovaniya» i ego primeneniye v uchebnom protsesse [Digital educational resource Brief History of Modeling and use of this resource in the educational process]// Materialy setevoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Elektronnoye obucheniye v VUZe i shkole» (16–19 aprelya 2014 g.) Saint Petersburg, 2014. P. 153–155. (In Russian).
10. Kopyltsov, A.A. Model klassifikatsii informatsii i algoritm ee predvaritelnoy obrabotki dlya staticheskikh i dinamicheskikh objektov [Information classification models and its algorithm of preprocessing information for static and dynamic objects]// Izvestiya SPbGETU «LETI» (izvestiya gosudarstvennogo elektrotehnicheskogo universiteta). Seriya «Informatika, upravlenie i kompyuternyye tekhnologii». 2013. № 6. P. 134–139. (In Russian).
11. Kopyltsov A.A. Obrabotka informatsii v zhivyykh i tekhnicheskikh sistemakh [Processing information in living and technical systems]// Materialy XII Sankt-Peterburgskoy mezhdunarodnoy konferentsii «Regionalnaya informatika – 2012» (24–26 oktyabrya 2012 g.). Saint Petersburg, 2012. P. 373–374. (In Russian).
12. Kopyltsov, A.A. Obrabotka slabo formalizovannoy informatsii v zhivyykh i tekhnicheskikh sistemakh [Processing weakly formalized information in living and technical systems]// Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, magistrrov, aspirantov «Sovremennoye programmirovaniye» (16–17 aprelya 2014 g.) Nizhnevartovsk, 2014. P. 117–121. (In Russian).
13. Kopyltsov A.A. Obrabotka slabo formalizovannoy informatsii pri nedostatke informatsii [Processing weakly formalized information with lack of information] // Materialy XII Sankt-Peterburgskoy mezhdunarodnoy konferentsii «Regionalnaya informatika – 2012» (24–26 oktyabrja 2012 g.) Saint Petersburg, 2012. P. 374. (In Russian).
14. Kopyltsov, A.A. Osobennosti obrabotki slabo formalizovannoy informatsii [Peculiarities of processing weakly formalized information]// Materialy XIV Sankt-Peterburgskoy mezhdunarodnoy konferentsii «Regionalnaya informatika – 2014» (29–31 oktyabrya 2014 g.) Saint Petersburg, 2014. P. 555–556. (In Russian).
15. Kopyltsov, A.A. Poyatiye slabo formalizovannoy informatsii i osobennosti ee obrabotki [Weakly formalized information: concept and processing peculiarities]// Materialy setevoy mezhdunarodnoy nauchno-

prakticheskoy konferentsii «Elektronnoe obuchenie v VUZe i shkole» (20–24 aprelya 2015 g.) Saint Petersburg, 2015. P. 140–144. (In Russian).

16. Kopyltsov, A.A. Primenenie obobshchennogo algoritma obrabotki slabo formalizovannoy informatsii dlya upravleniya neravnovesnoy khimicheskoy reaktsiyey [Generalized algorithm of processing weakly formalized information applied to control a nonequilibrium chemical reaction]// Inzhenerny vestnik Dona. 2015. № 1. P. 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2812](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2812). (In Russian).

17. Kopyltsov, A.A. Programma dlya obrabotki slabo formalizovannoy informatsii, postupajushchey ot tekhnicheskikh sistem [A program for processing weakly formalized information from technical systems]// Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM № 2013617310. Pravoobladatel: FGBOU VPO «Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy elektrotehnicheskii universitet «LETI» im V.I. Ulyanova (Lenina)» (SPb GETU «LETI»). Zayavka № 2013615041. Data postupleniya 19 iyunya 2013 g. Data gosudarstvennoy registratsii v Reestre programm dlya EVM 08 avgusta 2013 g. [Software Application State Registration Certificate № 2013617310] (In Russian).

18. Kopyltsov, A.A. Slabo formalizovannaya informatsiya i algoritmy ee obrabotki [Weakly formalized information and processing weakly formalized information]// Materialy XIV Sankt-Peterburgskoy mezhdunarodnoy konferentsii «Regionalnaya informatika – 2014» (29–31 oktyabrya 2014 g.) Saint Petersburg, 2014. P. 556–557. (In Russian).

19. Kopyltsov, A.A. Sokhranenie konfidentsialnosti dannykh pri podderzhke prinyatiya resheniy, na osnove izvlekaemoy spetsialnym obrazom informatsii [Maintaining data privacy with the support of decision-making, based on the specially extracted information]// Materialy VIII Sankt-Peterburgskoy mezhdunarodnoy konferentsii «Informatsionnaya bezopasnost regionov Rossii» (23–25 oktyabrya 2013 g.) Saint Petersburg, 2013. P. 104. (In Russian).

20. Kopyltsov, A.A. Tsifrovoy obrazovatelnyy resurs «Obrabotka slabo formalizovannoy informatsii v zhivyykh i tekhnicheskikh sistemakh» [Digital educational resource Processing Weakly Formalized Information in Living and Technical Systems]// Materialy setevoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Elektronnoe obuchenie v VUZe i shkole» (16–19 aprelya 2014 g.) Saint Petersburg, 2014. P. 151–153. (In Russian).

21. Kopyltsov, A.A., Nechitajlenko, R.A. Klasternoe atributirovanie objektov informatsionnoy obrabotki po ponyatijnykh chastnykh i integralnykh priznakam [Cluster attribution of information processing objects in terms of private and integral conceptual dimensions]// Materialy XII Sankt-Peterburgskoy mezhdunarodnoy konferentsii «Regionalnaya informatika – 2010» (20–22 oktyabrya 2010 g.) Saint Petersburg, 2010. P. 49–50. (In Russian).

22. Kopyltsov, A.A., Nechitajlenko, R.A. Obespechenie porogovoy bezopasnosti obrabotki slabo formalizovannoy informatsii pri raspredelennom upravlenii s tseliyu prinyatiya reshenij [Ensuring threshold safety of processing weakly formalized information in the distributed control to provide for decision-making]// Trudy VII Sankt-Peterburgskoy mezhdunarodnoy konferentsii «Informatsionnaya bezopasnost regionov Rossii» (26–28 oktyabrya 2011 g.) Saint Petersburg, 2011. P. 154–155. (In Russian).

23. Kopyltsov, A.V. Ob otsenke kachestva programmnykh produktov [Assessing the quality of software products]// Problemy informatizatsii (teoreticheskii i nauchno-prakticheskii zhurnal). 1994. Issue. 3–4. P. 46–48. (In Russian).

24. Khovanov, N.V. Statisticheskie modeli teorii kvalimetricheskikh shkal [Statistical models of the qualitative scales theory]. Leningrad, 1986. (In Russian).

*A.A. Kopyltsov*  
*Saint Petersburg, Russia*

## GENERALIZED ALGORITHM FOR PROCESSING WEAKLY FORMALIZED INFORMATION AND APPLICATIONS OF SUCH ALGORITHM

**Abstract.** This paper offers applications of the generalized algorithm for processing weakly formalized information from sensors to ensure safe road traffic. Weakly formalized information is information that cannot be loaded on the computer and/or cannot be processed on the computer without preliminary processing, namely, information formalization. The data arriving from sensors are often weakly formalized information, which means that in order to upload the data they have to be processed. There are special requirements imposed on the systems of processing such data, particularly, the systems have to process weakly formalized information and obtain formalized information which can be further processed on the computer. We have proposed a generalized algorithm for processing weakly formalized data that can be used for information processing in various technical systems, particularly, to ensure safe road traffic. Vehicles are thought to be equipped with various sensors (video, sound, ultrasonic sensors, etc.) providing data on obstacles on the road (buildings, constructions, trees, other vehicles, people, animals, etc.). The data may be insufficient due to such cases when one obstacle covers another, for example, a person

can be behind car in the blind spot. The point is in avoiding collision of the car with any obstacle (other car, building, person, animal, etc.). There are two parameters to be considered: driving speed and direction. If the distance between one car and other car or any obstacle gets smaller, a vehicle can change either driving speed or direction, thus ensuring safe road traffic. This paper considers vehicle movement through a T-junction as an example and shows that applying the considered generalized algorithm allows ensuing safe road traffic.

**Key words:** weakly formalized information; algorithm; information processing; road traffic safety.

**About the author:** Anton Alexandrovich Kopyltsov, Senior Lecturer at the Department of Automated Information Processing Systems, Saint-Petersburg State Electrotechnical University «LETI».

**Place of employment:** Saint-Petersburg State Electrotechnical University «LETI».

---

---

УДК 51:004.942

*А.С. Трунов, Л.И. Воронова, В.И. Воронов*  
Москва, Россия

## РАЗРАБОТКА ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ СИСТЕМЫ «MD-SLAG-MELT» НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ CUDA

**Аннотация.** Одним из приоритетных направлений современной науки является создание новых материалов с заранее заданными свойствами. В этой области широко применяется компьютерное моделирование (КМ), в том числе метод молекулярной динамики, позволяющий определять целый комплекс свойств (структурные, термодинамические, транспортные) и исследовать взаимосвязи наноструктуры и физико-химических свойств.

Для проведения КМ создаются автоматизированные информационные системы (АИС), главной целью которых является расширение границы исследований, оптимизация научной работы и ускорение проведения исследований. Одной из таких систем является ИИС «Шлаковые расплавы» (ИИС «MD-SLAG-MELT») [1].

Особенности предметной области ИИС таковы, что в настоящее время без применения методов распределения вычислений удастся просчитывать за приемлемое время групповое поведение систем, содержащих в лучшем случае десятки тысяч частиц. Однако существует ряд задач, в частности, связанных с определением пространственных наноразмерных неоднородностей, для которых необходимо увеличение размерности модельной системы до миллионов частиц. Промоделировать подобную систему на локальном компьютере в последовательном режиме практически не удастся, т.к. это связано с большими временными затратами, эксперимент может занять несколько месяцев. Решение подобных задач требует использования распределенных вычислений.

В статье описан разработанный авторами параллельный алгоритм, адаптирующий существующий (legacy application) линейный алгоритм расчета сил межмолекулярного взаимодействия под распределенные вычисления на центральном и графическом процессорах вычислительного устройства и имплементированный в программную среду ИИС «MD-SLAG-MELT». В основе разработанного распределенного алгоритма лежит технология параллельного программирования CUDA.

**Ключевые слова:** Информационно-исследовательская система (ИИС) «MD-SLAG-MELT»; молекулярная динамика; распределенные вычисления; параллельный алгоритм; CUDA

**Сведения об авторах:** Трунов Артем Сергеевич<sup>1</sup>, старший преподаватель кафедры информационных систем и моделирования РГГУ; Воронова Лилия Ивановна<sup>2</sup>, заведующая кафедрой информационных систем и моделирования РГГУ, профессор кафедры математической кибернетики и информационных технологий МТУСИ; Воронов Вячеслав Игоревич<sup>3</sup>, доцент кафедры информационных систем и моделирования РГГУ.

**Место работы:** Российский государственный гуманитарный университет (ФГОБУ ВПО «РГГУ») <sup>1,2,3</sup>; Московский технический университет связи и информатики (ФГОБУ ВПО «МТУСИ») <sup>2</sup>.

**Контактная информация:** 111672, г. Москва, ул. Новокосинская, д. 40, кв. 204; тел: 8-916-068-68-38. E-mail voronova2001@mail.ru.

---

Информационно-исследовательская система (ИИС) MD-SLAG-MELT [1; 3; 7] – программный комплекс, реализующий компьютерные эксперименты по исследованию физико-химических свойств и структуры материалов, ресурс по направлению компьютерного материаловедения.

Базовым методом в ИИС является метод молекулярной динамики (МД), который включает анализ сложного силового взаимодействия между частицами модельной системы. Размер системы (число исследуемых частиц) при МД-моделировании является критически важным. С увеличением числа частиц до  $10^6$  линейные размеры модельного куба достигают нанометров, что позволяет получать результаты нового качества, обладающие практической значимостью. Однако расчет систем, содержащих  $10^5$ – $10^7$  частиц, требует серьезных временных затрат и вычислительных ресурсов, что делает невозможным проведение компьютерных экспериментов без привлечения высокопроизводительных вычислений.

В условиях ограниченных аппаратных ресурсов повышение производительности вычислений возможно за счет привлечение графического процессора видеокарты, используемого для компьютерных экспериментов вычислительного устройства (персонального компьютера). Делегирование части вычислений исходной задачи графическому процессору позволит разгрузить центральный процессор, что сократит общее время обработки. Для реализации описанной модели (модель распределенных вычислений MapReduce) необходимо разработать и имплементировать параллельный алгоритм, адаптирующий существующий линейный алгоритм расчета сил межмолекулярного взаимодействия под распределенные вычисления на центральном и графическом процессорах вычислительного устройства.

В статье описан разработанный авторами и реализованный в ИИС MD-MELT параллельный алгоритм расчета сил меж-

молекулярного взаимодействия. В основе разработанного распределенного алгоритма лежит технология параллельного программирования CUDA (Compute Unified Device Architecture).

Разработка параллельного алгоритма для вычисления результирующих сил взаимодействия между всеми частицами состоит из нескольких этапов: декомпозиция вычислений на независимые подзадачи, выделение информационных зависимостей между подзадачами, масштабирование подзадач – определение необходимой для решения вычислительной схемы и распределение подзадач между исполнительными процессорами [6].

Модель предметной области – коррелированная система N-частиц. Под коррелированной системой понимается система взаимодействующих объектов (частиц), в которой часть характеристик индивидуального объекта или системы в целом зависит от совокупности характеристик всех остальных объектов. Каждая модельная частица имеет набор сохраняющихся и переменных атрибутов. В этом случае МД-моделирование представляет собой численное решение краевой задачи Коши.

Для *распределенного* МД-моделирования коррелированной системы N-частиц авторами разработана модель неоднородных дескрипторов. На основе концептуальной модели МД-метода и тщательного анализа программного кода legacy application – локального МД-приложения построены наборы дескрипторов, описывающих бизнес-логику МД-приложения с точки зрения разделения его кода на блоки, пригодные для распределения.

Выделено два класса – одночастичные дескрипторы ( $D1s(i)$ ,  $D1v(i)$ ) и агрегаторы (двух- и трехчастичные ( $D\Sigma 2(i)$ ,  $D\Sigma 3(i)$ ) дескрипторы). Оба класса предполагают возможность параллельного расчета дескрипторов на разных вычислителях. Однако, если одночастичные дескрипторы можно произвольно распределять по вычислителям, то агрегаторы (содержат эле-

менты, описывающие перекрестные отношения разных порядков между одночастичными дескрипторами и/или агрегаторами) являются «зависимыми» от одночастичного дескриптора и рассчитываются на том же вычислительном устройстве, что и «родительский» одночастичный дескриптор. Предложенный подход позволяет отвлечься от конкретного наполнения элементов дескрипторов, перенести акцент с описания физических взаимодействий в системе на информационное описание перераспределения потоков данных между дескрипторами [2; 4].

### Метод равномерной загрузки вычислителей

Равномерное распределение задач между исполнительными процессорами повышает общую эффективность вычислений (балансировка системы за счет отсутствия простоев). При этом необходимо учитывать загрузку нитей (единичных процессов, выполняемых на единичных процессорах) – обеспечить не только минимизацию их простоев, но и сокращение количества операций по передаче данных от центрального процессора графическому при вычислениях.

Наиболее трудоемкая операция на каждом шаге моделирования – расчет взаимодействий между объектами. Она требует выполнения числа операций, квадратичного по отношению к числу объектов. Для реализации параллельного расчета нужно разделить систему из  $N$  объектов на блоки. Каждый блок рассчитывается на отдельном процессоре.

Предварительная схема разбиения задачи на подзадачи: каждый процесс выполняет задачу по подсчету взаимодействия между двумя выбранными частицами системы. Внутри блока (группы программно организованных процессоров) выполняется задача по агрегации результатов выполнения на более низком уровне. Таким образом, результат работы каждого блока – подсчет взаимодействия всех частиц с дан-

ной. Верхний уровень системы (сетка – совокупность программно организованных блоков) агрегирует результаты, полученные на блочном уровне (взаимодействие каждой частицы со всеми) и передает их хосту.

Первоначально для организации нитей (threads) и блоков (blocks) внутри сетки (grid) использовалась *линейная схема* [5] организации процессов, что казалось целесообразным, так как на вход алгоритму подается серия одномерных массивов, и каждая нить осуществляет подсчет взаимодействия между двумя определенными частицами.

В алгоритме используется пошаговая проверка эффективности с возможным возвращением на несколько шагов назад. Авторами проведены компьютерные эксперименты, показавшие высокий процент ожидания процессов, что делает представленную декомпозицию частей неэффективной.

Авторами предложен *блочный* алгоритм, в котором каждый процесс получил задачу по аналитике частицы (взаимодействие выбранной частицы со всеми), а блок процессов – задачу по аналитике группы частиц. Для представленной организации ленточный метод индексирования неприемлем (стал сложным), поэтому для разработки параллельного алгоритма используется блочная схема организации базовых подзадач.

Для оценки корректности этапа разделения вычислений на независимые части используют контрольный список обязательных условий для разбиения: выполненная декомпозиция не увеличивает объем вычислений и необходимый объем памяти; при выбранном способе декомпозиции все процессоры равномерно загружены; выделенных частей процесса вычислений достаточно для эффективной загрузки имеющихся процессоров (с учетом возможности увеличения их количества).

### Выделение информационных зависимостей

Учитывая, что передача данных от процессора процессору занимает определенное время и снижает эффективность параллельного алгоритма, ее нужно минимизировать. Оптимальный вариант – перед

каждым шагом моделирования передавать всю информацию о системе на каждый процессор. На рисунке 1 показана схема разделения системы из  $N$  объектов на блоки с учетом информационных зависимостей.

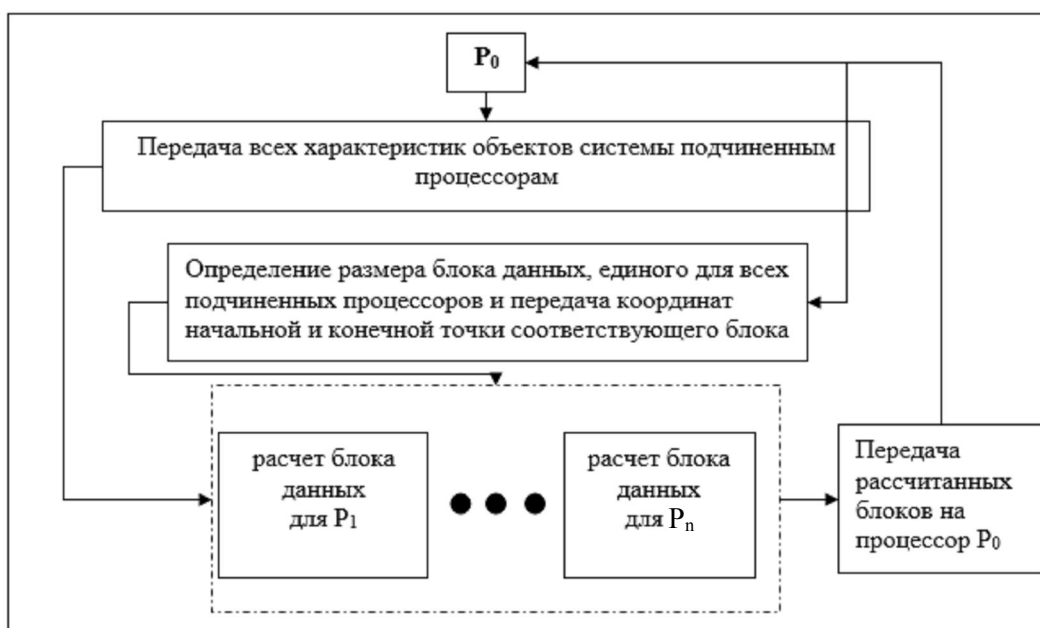


Рис. 1. Разделение системы из  $N$  объектов на блоки с учетом информационных зависимостей

Для оценки корректности этапа выделения информационных зависимостей так же, как и для этапа разделения на независимые части, используют контрольный список обязательных условий функционирования: вычислительная сложность подзадач соответствует интенсивности их информационных взаимодействий; интенсивность информационных взаимодействий одинакова для разных подзадач; схема информационного взаимодействия локальна; выявленная информационная зависимость не препятствует параллельному решению подзадач.

### Масштабирование и распределение задач по потокам

Параллельный алгоритм называется масштабируемым, если при росте числа процессоров он одновременно обеспечивает увеличение ускорения и сохраняет эф-

фективность использования процессоров. Масштабирование проводится в случае, если количество имеющихся подзадач отличается от числа планируемых к использованию процессоров. Ниже приведены правила агрегации и декомпозиции подзадач, которые параметрически зависят от числа процессоров, применяемых для вычислений.

На рисунке 2 представлен параллельный алгоритм расчета одного шага моделирования системы из  $N$  объектов. Алгоритм является оптимальным для системы с количеством взаимодействий  $N^2$ .

Рассмотрим более детально систему с количеством взаимодействий  $(N*(N-1))/2$  (каждая частица со всеми без повторов для следующих итераций). На рисунке 3 в матрице отражены системы с количеством взаимодействий  $N^2$  (слева) и  $(N*(N-1))/2$  (справа), где объекты обозначаются  $O_1...O_n$

и серым цветом закрашены области, где не рассчитываются взаимодействия между объектами.

Представленный алгоритм является оптимальными для однородной информационной среды, но его реализация в гетерогенной среде требует доработки. Во-первых, с числом увеличения частиц увеличивается нагрузка на каждый процессор, время выполнения блока расчетов, связанного с  $i$ -ой частицей, увеличивается. Во-вторых, из-за гетерогенности среды более мощные компьютеры простаивают, т.к. выполняют свои расчеты быстрее. Для реше-

ния этих задач создана модель балансировки нагрузки процессоров.

Для оценки правильности масштабирования используют контрольный список обязательных условий функционирования: локальность вычислений не ухудшится после масштабирования имеющегося набора подзадач; подзадачи после масштабирования сохраняют одинаковую вычислительную и коммуникационную сложность; количество задач соответствует числу имеющихся процессоров; правила масштабирования зависят параметрически от количества процессоров.

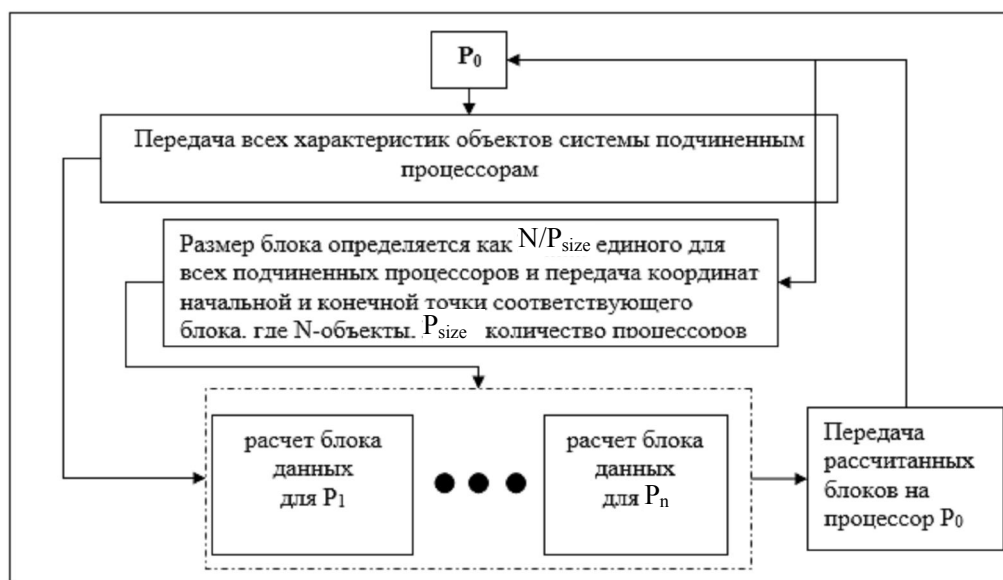


Рис. 2. Алгоритм расчета одного шага моделирования системы из  $N$  объектов

	$O_1$	$O_2$	$O_3$	...	$O_n$
$O_1$				...	
$O_2$				...	
$O_3$				...	
...	...	...	...		
$O_n$				...	

	$O_1$	$O_2$	$O_3$	...	$O_n$
$O_1$					
$O_2$					
$O_3$					
...	...	...	...		
$O_n$				...	

Рис. 3. Количество взаимодействий, выполняемое каждым объектом

Распределение подзадач между процессорами является завершающим этапом разработки параллельного метода. Основ-

ной показатель успешности выполнения данного этапа – эффективность использования процессоров, определяемая как отно-

сительная доля времени, в течение которого процессоры использовались для вычислений, связанных с решением исходной задачи. Пути достижения хороших результатов в этом направлении остаются прежними: обеспечение равномерного распределения вычислительной нагрузки между процессорами и минимизация числа сообщений между ними.

Для оценки правильности распределения использован контрольный список обязательных условий функционирования:

распределение нескольких задач на один процессор не приводит к росту дополнительных вычислительных затрат; существует необходимость динамической балансировки вычислений; процессор-менеджер не является «узким» местом при использовании схемы «менеджер – исполнитель».

Разработанный алгоритм (рис. 4) удовлетворяет всем обязательным пунктам контрольных списков по каждому этапу разработки, также учитываются функциональные и нефункциональные требования.

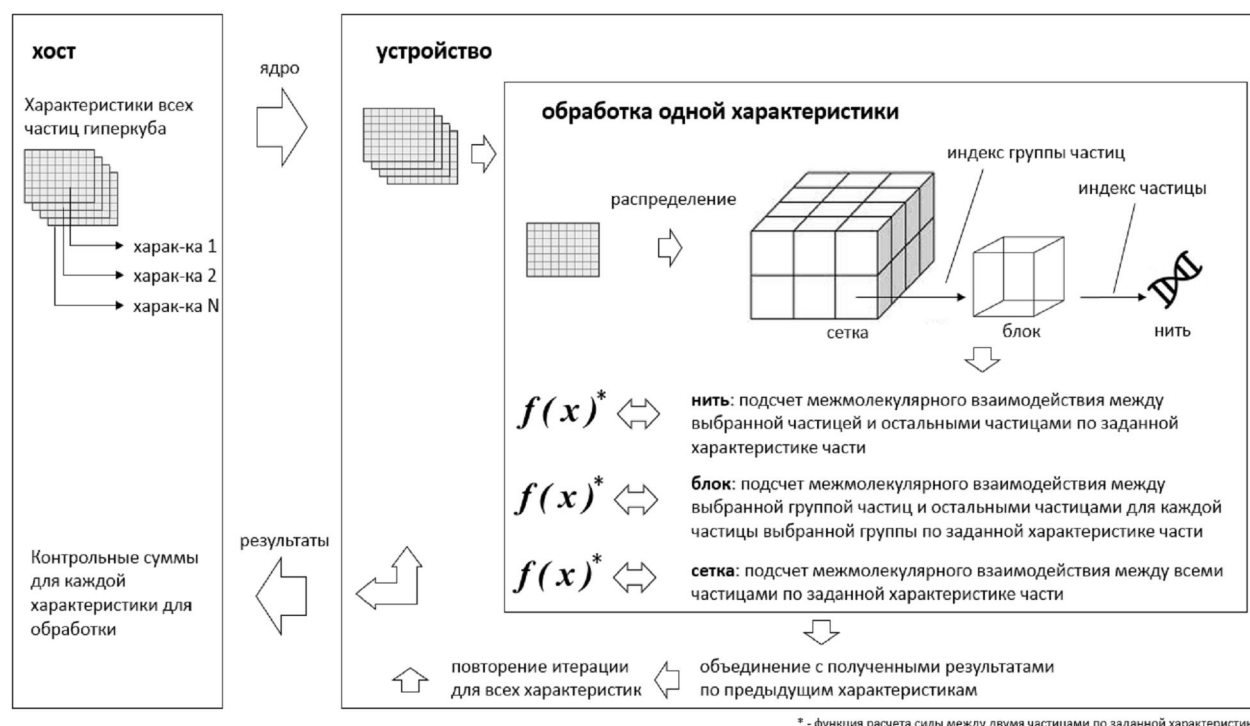


Рис. 4. Алгоритм распределенного вычисления сил межчастичного взаимодействия

**Результаты компьютерных экспериментов**

Компьютерные эксперименты проводились на центральном процессоре Intel® Core i3-4030U CPU 1.90 GHz с ОЗУ, равной 4,00 Gb, и на графическом процессоре с использованием видеокарты NVidia GeForce 820M для приложения, реализующего

расчет на CUDA. Результаты компьютерных экспериментов, отражающие время вычисления (в секундах) одного программного модуля расчета сил межмолекулярного взаимодействия для параллельного (CUDA) и линейного (host) алгоритмов, представлены в таблице 1.

Таблица 1

		Результаты компьютерных экспериментов						
		Количество частиц						
		1000	5000	10000	50000	100000	500000	1000000
устройство	CUDA	0,2	2	10	345	1287	42234	589711
	host	15	188	1286	53649	218023	7376529	104063567

Таблица 2

Результаты компьютерных экспериментов для разного количества нитей

		Количество частиц						
		1000	5000	10000	50000	100000	500000	1000000
количество нитей	32	0,5	4,7	22	754	1859	60992	3068950
	64	0,2	2,5	10	355	1292	42399	1422241
	128	0,3	2,7	11	370	1294	42453	1017201
	256	0,3	2,3	10	360	1297	42563	784484
	512	0,3	2,3	11	365	1295	42508	652894
	1024	0,2	2,0	10	345	1287	42234	589711

Анализируя полученные результаты, можно сделать предварительное заключение, что реализация параллельного алгоритма дала выигрыш в скорости исполнения модуля подсчета сил межмолекулярного взаимодействия по одной характеристике в более чем 100 раз (усредненное табличное значение ускорения).

В таблице 2 приведены результаты компьютерных экспериментов, отражающих время вычисления одного программного модуля расчета сил межмолекулярного взаимодействия для параллельного

(CUDA) алгоритма при разном количестве потоков (нитей).

Наибольшее ускорение достигается за счет организации блока с максимально возможным количеством нитей. Такая точная организация позволит увеличить размерность моделируемой системы, но с увеличением числа нитей вырастает потребность в дополнительном выделении памяти на графическом процессоре.

На рисунке 5 представлена кривая ускорения разработанного параллельного алгоритма.

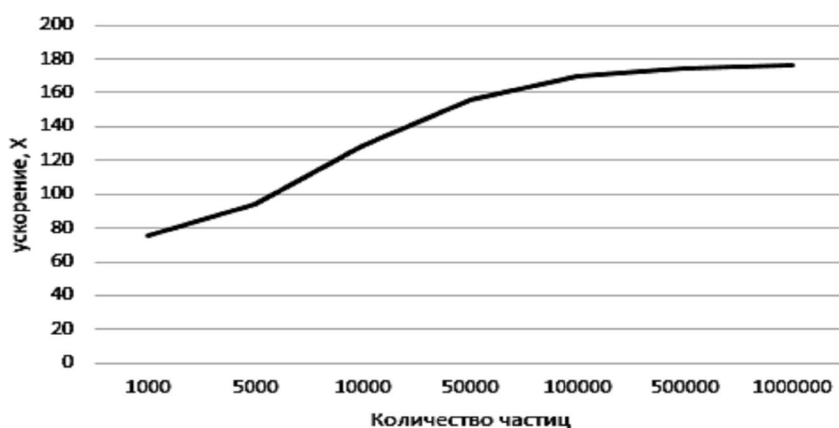


Рис. 5. Кривая ускорения параллельного алгоритма

Пиковое значение скорости наблюдается возле отметки в 50 тыс. частиц, а

минимальное значение выигрыша в производительности составляет 80 раз.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воронова Л.И., Григорьева М.А., Воронов В.И., Трунов А.С. Программный комплекс MD-SLAG-MELT информационно-исследовательской системы «Шлаковые Расплавы» версии 10.0. Депонированная рукопись № 29-B2012 26.01.2012.

2. Григорьева М.А., Воронова Л.И. Интеграция XML-данных и вычислительных Fortran-приложений в ИИС «Шлаковые Расплавы» 9.0 // Информационные технологии моделирования и управления. – 2009. – № 1 (53). – С. 106–110.
3. ИИС «MD-SLAG-MELT» [Электронный ресурс] // <http://nano-md-simulation.com/> дата обращения (28.06.2015).
4. Косенко Д.В., Воронова Л.И., Воронов В.И. Разработка программного обеспечения для обработки сложноструктурированных данных научного эксперимента // Вестник Нижегородского государственного университета. – 2014. – № 3. – С. 45–52.
5. Пилипчак П.Е., Воронова Л.И., Трунов А.С. Модель балансировки нагрузки для параллельного расчета системы N-частиц на гетерогенной кластерной системе // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–2. – С. 218–219.
6. Якововский М. Введение в параллельные алгоритмы: [Электронный ресурс] // [www.intuit.ru/](http://www.intuit.ru/) (дата обращения 28.06.2015).
7. Voronova L.I., Grigor'eva M.A., Voronov V.I., Trunov A.S. MD-Slag-Melt Software Package for Simulating the Nanostructure and Properties of Multicomponent Melts // Russian metallurgy (Metally). – 2013. – Vol. 2013. – № 8. – P. 617–627.

#### REFERENCES

1. Voronova, L.I., Grigorieva, M.A., Voronov, V.I., Trunov, A.S. Programmny complex MD-SLAG-MELT informatsionno-issledovatel'skoy sistemy «Shlakoviye Rasplavy» versii 10.0. Deponirovannaya rukopis № 29-B2012 26.01.2012 [Software Package MD-SLAG-MELT of Slag Melts Research-Information System, Version 10.0. Deposited manuscript № 29 B2012 26.01.2012]. (In Russian).
2. Grigorieva, M.A., Voronova, L.I. Integratsiya XML-dannykh i vychislitelnykh Fortran-prilozheniy v IIS «Shlakoviye Rasplavy» 9.0 [Integration of XML-data and computing Fortran applications in RIS Slag Melts 9.0] // Informatsionniye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya. 2009. № 1 (53). P. 106–110. (In Russian).
3. RIS MD-SLAG-MELT [Electronic resource] // <http://nano-md-simulation.com/> (Accessed on June 28, 2015). (In Russian).
4. Kosenko, D.V., Voronova, L.I., Voronov, V.I. Razrabotka programmnogogo obespecheniya dlya obrabotki slozhnokonstruirovannykh dannykh nauchnogo eksperimenta [Development of software for processing complex structured scientific experiment data] // Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 3. P. 45–52. (In Russian).
5. Pilipchak, P.E., Voronova, L.I., Trunov, A.S. Model balansirovki nagruzki dlya parallelnogo rascheta sistemy N-chastits na geterogenniy skasternoy sisteme [Load balancing model for parallel calculation of N-particles on heterogeneous cluster system] // Sovremenniy naukoemkiye tekhnologii. 2014. № 5-2. P. 218–219. (In Russian).
6. Yakobovskiy, M. Vvedeniye v parallelnyye algoritmy [Introduction to parallel algorithms]. [Electronic resource] // [www.intuit.ru/](http://www.intuit.ru/) (Accessed on June 28, 2015). (In Russian).
7. Voronova, L.I., Grigor'eva, M.A., Voronov, V.I., Trunov, A.S. MD-Slag-Melt Software Package for Simulating the Nanostructure and Properties of Multicomponent Melts // Russian metallurgy (Metally). 2013. Vol. 2013. № 8. P. 617–627.

*A.S. Trunov, L.I. Voronova, V.I. Voronov  
Moscow, Russia*

#### DEVELOPING PARALLEL ALGORITHM FOR RESEARCH AND INFORMATION SYSTEM OF MD-SLAG-MELT BASED ON CUDA TECHNOLOGY

**Abstract.** Development of new materials with predetermined properties is a priority trend in modern science. Here computer modeling (CM), including molecular dynamics method allowing us to determine a set of properties (structural, thermodynamic and transport) and study the relationship of nanostructure and physical-chemical properties, are widely applied.

Computer modeling is ensured through the development of automated information systems (AIS) aimed at expanding research boundaries, optimizing and accelerating scientific work. Research and Information System of «Slag Melt» (RIS MD-SLAG-MELT) is a perfect example of such automated systems [1].

RIS's data domain supposes that without using distributed computing it is currently possible to calculate group behavior of the systems containing tens of thousands of particles at most. However, certain tasks of describing nanoscale three-dimensional clusters require increasing the dimensions of the model system to millions of particles.

It is almost impossible to simulate such system on a local computer in a sequential manner due to time input, as the experiment may take several months, hence distributed computing is required.

The authors have developed a parallel algorithm adapting the existing linear algorithm (legacy application) of calculating the forces of intermolecular interaction for distributed computing at CPU and GPU computing device and implemented in RIS MD-SLAG-MELT. The algorithm is based on CUDA distributed parallel programming technology.

**Key words:** Information and Research Systems (IRS) MD-SLAG-MELT; molecular dynamics; distributed computing; parallel algorithm; CUDA.

**About the authors:** Artem Sergeevich Trunov<sup>1</sup>, Senior Lecturer at the Department of Information Systems and Modeling, Russian State University for Humanities; Lilia Ivanovna Voronova<sup>2</sup>, Head of the Department of Information Systems and Modeling, Russian State University for Humanities, and Professor at the Department of Mathematical Cybernetics and Information Technologies, Moscow Technical University of Communications and Informatics; Vyacheslav Igorevich Voronov<sup>3</sup>, Associate Professor at the Department of Information Systems and Modeling, Russian State University for Humanities.

**Place of employment:** Russian State University for Humanities<sup>1, 2, 3</sup>; Moscow Technical University of Communications and Informatics<sup>2</sup>.

---

---

УДК 51-77

*О.В. Шульгин*  
*Нижевартовск, Россия*

## ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Аннотация.** Предметом настоящего исследования являются организационные системы как системы открытого типа. Работа посвящена проблематике формализации структуры организационных систем в неразрывной связи с их системными функциями (проблематике анализа и синтеза систем).

Целью работы является общая постановка задач анализа и синтеза организационных систем.

Теоретико-методологической базой исследования послужили положения теории систем и методы системного анализа.

В работе рассматривается общая постановка задач анализа и синтеза организационных систем в рамках системного подхода. Каждая задача представлена в качестве последовательно формулируемых подзадач. Ставятся проблемы определения параметров, характеризующих элементарные объекты организационных систем. Дается представление об элементарных функциях, реализуемых данными объектами, а также о взаимосвязях между ними. Последовательно рассматриваются особенности анализа закрытых и открытых систем. Вводится описание взаимосвязей между элементами системы в виде квадратных матриц. Определяется проблематика влияния внешней среды на формирование структуры системы. Дается характеристика зависимых и независимых подсистем. Ставится задача синтеза систем в рамках определения эмерджентной функции (функции системы). Последовательно формулируются подзадачи синтеза через определение математических функций воздействия внешней среды на систему, состояния системы, воздействия системы на внешнюю среду, изменения состояния внешней среды под воздействием системы.

Основным результатом работы является определение ключевых направлений и алгоритма моделирования структурных взаимосвязей организационных систем, имеющих значимость для разработки имитационных моделей функционирования организации и проектирования информационных систем управления организациями.

**Ключевые слова:** система; системный анализ; моделирование организационных систем.

**Сведения об авторе:** Шульгин Олег Валерьевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры физико-математического образования.

**Место работы:** Нижевартовский государственный университет.

**Контактная информация:** 628611, г. Нижевартовск, ул. Дзержинского, д. 11; тел.: 89125392155.  
E-mail: shul.oleg.val@mail.ru

---

С середины XX в. для изучения организаций широко используется так называемый системный подход, а разработкой терминологического аппарата и различных методов исследования в рамках системного подхода занимается такая наука, как теория систем.

Под системой понимают множество взаимосвязанных между собой элементов, каждый из которых выполняет свою (элементарную) функцию. Выполнение каждым элементом своей функции при обеспечении взаимосвязи (структуры) между ними приводит к появлению эмерджентности (системному эффекту).

Поскольку организация является совокупностью людей, взаимодействующих между собой ради достижения цели, которую они в одиночку достичь не способны, постольку к ее описанию и исследованию можно применить системный подход. Любая организация может быть представлена как система.

В настоящее время системный подход, по мнению многих авторов, является наиболее адекватной методологической базой комплексного исследования организаций любого типа [1–6].

В дальнейшем организацию мы будем называть организационной системой (или системой), а работников организации – элементами системы.

Методы исследования систем объединены в рамках двух направлений (задач): анализа и синтеза систем.

При анализе системы выявляют и описывают свойства отдельных элементов,

их локальных объединений в подсистемы, исследуют формы взаимосвязи (структуру) между элементами и подсистемами.

При синтезе системы исследуют свойство эмерджентности, влияние на систему факторов среды, выявляют общие закономерности ее развития.

**Целью** настоящей работы является общая постановка задач анализа и синтеза организационных систем.

### 1. Общая постановка задачи анализа закрытых систем.

В теории систем используется деление систем на **открытые** и **замкнутые (закрытые)**. Открытые системы взаимодействуют с внешней средой, закрытые – нет. Практически любая организация является открытой системой, испытывающей различные воздействия со стороны внешней среды и активно влияющей на ее состояние. Сформулируем задачу анализа систем первоначально для закрытой системы. Это упростит введение в проблематику и существенно не повлияет на выводы. В дальнейшем мы введем взаимодействие с внешней средой.

Система состоит из множества элементов. Обозначим каждый элемент системы буквой  $k$  и присвоим ему соответствующий номер  $i$ : 1, 2, 3, ...,  $n$ , где  $n$  – номер последнего элемента системы и, соответственно, число элементов системы.

Если обозначить систему буквой  $S$ , то ее можно представить в виде следующей математической записи:

$$S = \{k_i\}, \text{ где } i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (1)$$

Строго говоря, любой элемент системы является ее элементом только потому, что является носителем определенных свойств, значимых для существования системы. Так, в коммерческой организации человек рассматривается, прежде всего, как работник, носитель рабочей силы – физических и умственных способностей к труду. Данные способности могут быть охарактере-

ризованы рядом параметров: уровень образования, квалификации, стаж работы и т.п. Отметим также, что работник, реализуя элементарную функцию, широко использует не только свои способности к труду, но и средства труда (инструменты, оборудование, предметы труда, различные оборотные фонды и т.п.). При характеристике элемен-

та системы мы должны учесть и параметры, описывающие данные факторы<sup>1</sup>.

Обозначим каждый такой параметр буквой  $a$  и присвоим ему соответствующий номер  $f = 1, 2, 3, \dots, d$ , где  $d$  – номер последнего параметра, и, соответственно, число параметров (свойств) элемента системы.

Заметим, что для описания свойств элемента системы могут использоваться параметры различного вида, имеющие раз-

$$\bar{k}_i = (a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}, \dots, a_{if}, \dots, a_{id}), \text{ где } i = 1, 2, 3, \dots, n; f = 1, 2, 3, \dots, d. \quad (2)$$

В соответствии с представлением элемента системы как вектора требуется

$$S = \{\bar{k}_i\}, \text{ где } i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (3)$$

Читается новая запись (1.3) следующим образом: система есть множество элементов, каждый из которых является вектором.

Заметим, что запись (1) имеет право на существование, если каждый элемент системы будет описываться вектором, включающим только один параметр<sup>3</sup>.

В связи со сказанным, определим первую подзадачу (задачу) анализа системы как задачу параметризации элементов системы.

Вообще говоря, для некоторых функций существует серьезная проблема измерения результатов ее реализации (например, измерение результата деятельности государственного чиновника). Представляется правильным описывать результат реализации элементарной функции также в виде вектора определенных параметров.

личные единицы измерения и требующие соответствующих методов измерения или расчета. Поэтому представить  $k_i$  как множество параметров  $a_f$  нельзя (как в формуле (1.1) была представлена система). Для корректного отражения элемента системы как набора определенных свойств представим  $k_i$  как вектор<sup>2</sup>, содержащий параметры  $a_f$ :

уточнить наше математическое описание системы:

**Задача 1 – параметризация элементов системы:** требуется определить такие параметры, которые будут характеризовать существенные (значимые) для существования системы свойства элементов.

Таких элементов может быть несколько либо они будут представлены в единственном числе.

Каждый элемент системы реализует свою элементарную функцию. Обозначим ее как  $f(k_i)$ . Результат (значение) функции обозначим как  $y_i$ :

$$y_i = f(k_i), \text{ где } i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (4)$$

Обозначим параметры результата функции как  $b$  и присвоим каждому параметру свой номер  $g = 1, 2, 3, \dots, u$ , где  $u$  – номер последнего параметра и, соответственно, число параметров, характеризующих результат реализации функции.

В этом случае выражение (4) примет следующий вид:

<sup>1</sup> Не случайно на практике элементарным объектом считают не просто работника, а более сложный, комплексный объект – рабочее место.

<sup>2</sup> Напомним, что в высшей алгебре вектором называется упорядоченная совокупность показателей. При этом место каждого показателя в этой совокупности строго закреплено. Нельзя, к примеру, показатель, стоящий на втором месте, записать в следующий раз на пятом.

<sup>3</sup> По существу, любое число (скаляр) является частным случаем вектора. В дальнейшем для упрощения записи, если не будет оговорено особо, будем считать, что каждый элемент системы описывается вектором с одним параметром, т.е. скаляром.

$$\bar{y}_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ig}, \dots, a_{iu}) = f(k_i), \text{ где } i = 1, 2, 3, \dots, n; g = 1, 2, 3, \dots, u. \quad (5)$$

В дальнейшем для упрощения записи будем считать, что результат реализации элементарной функции описывается одним параметром, т.е. выражение (4) примем за основное для описания данного результата.

Определим вторую и третью подзадачи (задачи) анализа системы.

**Задача 2 – определение элементарной функции элемента системы.**

**Задача 3 – параметризация результата реализации элементарной функции системы.**

В организациях ряд элементов могут реализовывать одинаковые элементарные функции. Например, токарный участок машиностроительного предприятия может включать множество токарей, реализующих одну и ту же функцию на схожих по параметрам рабочих местах (или бухгалте-

ры, занимающиеся операциями материально-технического снабжения, или водители бригады такси, обслуживающей определенный район, и т.п.).

В этом случае представляется целесообразным объединить элементы, реализующие однородные функции, в подмножества (подсистемы) элементов.

Будем обозначать такие подсистемы пронумерованным символом  $S_h$ , где  $h$  – присвоенный номер определенной подсистеме;  $h = 1, 2, 3, \dots, w$ .

Для подобных подсистем их функции могут быть определены как агрегаты (сумма) результатов реализации входящими в них элементами своих элементарных функций:

$$y_{S_h} = \sum_{i \in S_h} f(k_i^{S_h}), \text{ где } i = 1, 2, 3, \dots, n_h, h = 1, 2, 3, \dots, w. \quad (6)$$

Читается данная запись следующим образом: элементарная функция подсистемы  $S_h$  есть сумма результатов реализации своих функций элементами, входящими в данную подсистему. При этом  $n_h$  – последний элемент рассматриваемой подсистемы и, соответственно, число элементов, входящих в данную подсистему.

На практике (особенно это касается крупных предприятий) редко в качестве элементарных объектов рассматривают отдельных работников. Как правило, в качестве таких объектов рассматривают элементарные объединения работников – подразделения, участки, бригады, отделы,

службы и т.д. В связи с этим в дальнейшем в качестве элементов системы, где это возможно, мы будем рассматривать в качестве элементов подобные агрегированные (суммированные по результатам реализации однородных элементарных функций) элементарные объекты.

Определим четвертую подзадачу (задачу) анализа системы.

**Задача 4 – выделение элементарных агрегированных объектов.**

Коль скоро выделены элементарные агрегированные объекты, систему можно представить в виде множества подсистем:

$$S = \{S_h\}, \text{ где } h = 1, 2, 3, \dots, w. \quad (7)$$

В организациях все подсистемы взаимосвязаны между собой в рамках организационных, управленческих и производственных отношений. Обозначим каждый вид отношения (взаимосвязи) буквой  $c$  и присвоим им соответствующие номера  $e = 1, 2, \dots, E$ .

На деле подобная взаимосвязь выражена в виде передачи предметов отношений (информации, предметов труда, средств труда, рабочей силы и т.п.) от одной подсистемы к другой. Иначе можно сказать, что состояние одной подсистемы

зависит от результатов функционирования другой подсистемы.

При рассмотрении конкретного отношения между двумя подсистемами всегда можно выделить независимую подсистему и подсистему, состояние которой зависит от результатов функционирования первой.

Условимся, что независимые подсистемы будут обозначаться  $S_h$ , а зависимые подсистемы –  $S_q$ , где  $q = 1 \dots z$ .

Заметим, что одна и та же подсистема может выступать как зависимая в одной связке отношений, и как независимая в другой связке отношений. Иными словами, мы рассматриваем одни и те же подсистемы (их количество не меняется), только с

различных точек зрения. При изменении точки зрения на подсистемы целесообразно изменить и индекс  $u$  обозначающего их символа. Поэтому зависимые подсистемы мы обозначаем как  $S_q$ , где  $q = 1 \dots z$ .

В результате действия независимой подсистемы на зависимую меняется состояние последней (т.е. меняются векторы  $\bar{k}_i$ ). Введем для таких векторов другие индексы и обозначим их как  $\bar{k}_j$ , где  $j = 1 \dots m$ .

Изменение одной подсистемы в результате функционирования другой подсистемы можно выразить следующим образом:

$$S_q = \left\{ k_j^{S_q} \right\} = f(y_{S_h S_q}), \quad (8)$$

где  $q = 1 \dots z$ ;  $h = 1, 2, 3, \dots, w$ ;  $j = 1, 2, 3, \dots, m$ ;  $i = 1, 2, 3, \dots, n_h$ .

Заметим, что не весь результат функционирования независимой подсистемы может передаваться зависимой системе, а лишь его часть. Мы это и фиксируем, введя обозначение  $y_{S_h S_q}$ .

Определим пятую, шестую и седьмую подзадачи (задачи) анализа системы.

**Задача 5 – определение видов взаимосвязей между подсистемами.**

**Задача 6 – в рамках каждого вида взаимосвязей определение зависимых и независимых систем.**

**Задача 7 – определение аналитического выражения изменения состояния зависимых подсистем как функции результатов деятельности независимых подсистем.**

Наглядно взаимосвязи между подсистемами по каждому виду отношений можно представить в виде квадратной таблицы-матрицы (табл. 1).

На главной диагонали представлены значения функций  $y_{11}, y_{22}, \dots, y_{wz}$ , описывающих ситуацию, при которой одна и та же подсистема выступает одновременно независимой и зависимой подсистемой. Здесь нет ошибки. Дело в том, что при получении результата функционирования подсистема воздействует не только на состояние других подсистем, но и меняет свои свойства (параметры). Например, рабочие увеличивают стаж, оборудование изнашивается и т.д.

В последней графе таблицы 1 представлены суммы результатов функционирования каждой независимой подсистемы; в последней строке – суммы воздействий на каждую зависимую подсистему. В последней ячейке главной диагонали матрицы приведен агрегат, соответствующий суммированию значений в последней графе и последней строке. Для закрытой системы эти значения сумм в последней строке и последней графе будут одинаковыми<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Предваряя наши рассуждения об открытых системах, заметим, что в системах этого вида  $\sum y_{S_h} \neq \sum y_{S_q}$ , т.к. часть результатов функционирования независимых систем будет передана субъектам внешней среды, также часть воздействий на зависимые подсистемы будет оказана из внешней среды.

Таблица 1

Взаимосвязи между подсистемами в рамках отношений вида  $c_e$ 

$S_h \backslash S_q$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	.....	$S_z$	$\sum y_{S_q}$
$S_1$	$y_{11}$	$y_{12}$	$y_{13}$	.....	$y_{1z}$	$y_{S_1}$
$S_2$	$y_{21}$	$y_{22}$	$y_{23}$	.....	$y_{2z}$	$y_{S_2}$
$S_3$	$y_{31}$	$y_{32}$	$y_{33}$	.....	$y_{3z}$	$y_{S_3}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$S_w$	$y_{w1}$	$y_{w2}$	$y_{w3}$	.....	$y_{1z}$	$y_{S_w}$
$\sum y_{S_h}$	$y_{S_1}$	$y_{S_2}$	$y_{S_3}$	.....	$y_{S_z}$	$\sum y_{S_h S_q}$

По существу, построением матрицы взаимосвязей заканчивается анализ системы в плане аналитического представления ее строения. Далее на основе данной матрицы может решаться множество задач частного характера.

Прежде чем мы перейдем к общей постановке задачи синтеза системы, скорректируем задачу анализа системы в отношении системы открытого типа<sup>5</sup>.

## 2. Общая постановка задачи анализа открытых систем

Внешняя среда по отношению к организации (системе) является суперсистемой<sup>6</sup>, которая так же состоит из элементов, объединенных в подсистемы. Подсистемы внешней среды можно разделить на два ви-

да: подсистемы среды, влияющие на подсистему организации (обозначим их  $L_\alpha$ , где  $\alpha = 1, 2, \dots, A$ ), и подсистемы среды, испытывающие влияние подсистем организации (обозначим их  $L_\beta$ , где  $\beta = 1, 2, \dots, B$ ).

Состояние каждой независимой от подсистем организации подсистемы среды может быть описано набором параметров (вектором)  $\vec{l}_v$ , где  $v = 1, 2, \dots, V$ .

Состояние каждой зависимой от подсистем организации подсистемы среды опишем вектором  $\vec{l}_p$ , где  $p = 1, 2, \dots, P$ .

Функция влияния независимой подсистемы среды на подсистему организации выглядит следующим образом:

$$\varphi_{L_\alpha S_q} = f(\vec{l}_v) \quad (9)$$

Функция влияния подсистемы организации на подсистему среды запишем так:

$$\gamma_{S_h L_\beta} = f(\vec{l}_p). \quad (10)$$

Наглядно связи между подсистемами организации и подсистемами среды могут

быть представлены в виде матриц (табл. 2, 3).

<sup>5</sup> Организация как система проявляет себя в процессе взаимодействия со средой. Функция системы может быть проанализирована только с точки зрения ее влияния на внешнюю среду. В связи с этим анализ открытой системы является необходимым условием для дальнейшего синтеза системы.

<sup>6</sup> Например, для промышленного предприятия в качестве суперсистемы может рассматриваться национальная экономика в целом.

Таблица 2

**Взаимосвязи между независимыми подсистемами среды и подсистемами организации в рамках отношений вида  $c_e$**

$L_a \backslash S_q$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	.....	$S_z$
$L_1$	$\varphi_{11}$	$\varphi_{12}$	$\varphi_{13}$	.....	$\varphi_{1z}$
$L_2$	$\varphi_{21}$	$\varphi_{22}$	$\varphi_{23}$	.....	$\varphi_{2z}$
$L_3$	$\varphi_{31}$	$\varphi_{32}$	$\varphi_{33}$	.....	$\varphi_{3z}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....
$L_A$	$\varphi_{A1}$	$\varphi_{A2}$	$\varphi_{A3}$	.....	$\varphi_{Az}$
$\sum \varphi_{L_a L_q}$	$\varphi_{S_1}$	$\varphi_{S_2}$	$\varphi_{S_3}$	.....	$\varphi_{S_z}$

Определим восьмую, девятую и десятую подзадачи анализа системы.

**Задача 8 – определение зависимых и независимых по отношению к подсистемам организации подсистем внешней среды.**

**Задача 9 – параметризация подсистем внешней среды.**

**Задача 10 – аналитическое описание взаимосвязей между подсистемами внешней среды и подсистемами организации.**

Таблица 3

**Взаимосвязи между зависимыми подсистемами среды и подсистемами организации в рамках отношений вида  $c_e$**

$S_h \backslash L_\beta$	$L_1$	$L_2$	$L_3$	.....	$L_B$	$\sum \gamma_{S_h L_\beta}$
$S_1$	$\gamma_{11}$	$\gamma_{12}$	$\gamma_{13}$	.....	$\gamma_{1B}$	$\gamma_{S_1}$
$S_2$	$\gamma_{21}$	$\gamma_{22}$	$\gamma_{23}$	.....	$\gamma_{2B}$	$\gamma_{S_2}$
$S_3$	$\gamma_{31}$	$\gamma_{32}$	$\gamma_{33}$	.....	$\gamma_{3B}$	$\gamma_{S_3}$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$S_w$	$\gamma_{w1}$	$\gamma_{w2}$	$\gamma_{w3}$	.....	$\gamma_{wB}$	$\gamma_{S_w}$

Итогом решения всех перечисленных задач является множество матриц, описывающих взаимосвязи между подсистемами организации, а также взаимосвязи между подсистемами внешней среды и подсистемами организации.

Количество матриц будет равно  $3E$ , где  $E$  – количество определенных видов

отношений в системе.

**3. Общая постановка задачи синтеза систем**

Синтез системы предполагает последовательное решение следующих подзадач<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Поскольку синтез системы осуществляется после анализа системы, для сохранения методологической последовательности продолжим нумерацию подзадач по порядку после решения последней подзадачи анализа системы.

Задача 11 – определение математической функции воздействия внешней среды на систему по всей совокупности отношений  $F(L_a)$ .

Задача 12 – определение математической функции состояния системы по всей совокупности отношений  $F(S_q)$ .

Задача 13 – определение математической функции воздействия системы на внешнюю среду (функции системы;

эмерджентной функции) по всей совокупности отношений  $F(S_h)$ .

Задача 14 – определение математической функции изменения состояния внешней среды под воздействием функции системы по всей совокупности отношений  $F(L_\beta)$ .

Схематично названные функции можно представить следующим образом (рис. 1).

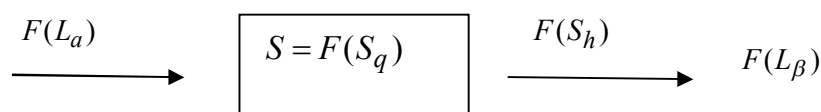


Рис. 1. Схема функций состояния системы и ее взаимодействия с внешней средой

Общее выражение названных функций выглядит следующим образом.

$$F(L_a) = F(\varphi_{L_a S_q c_e}) \quad (11)$$

Выражение (11) можно прочитать так: влияние внешней среды на систему есть функционал (сложная функция) изменения

параметров различных подсистем среды по всей совокупности взаимосвязей системы и среды.

$$F(S_a) = F(k_j^{S_q}; f(y_{S_h S_q c_e}); F(L_a)) \quad (12)$$

Смысл записи (12): состояние системы зависит от параметров элементов зависимых подсистем, комплексного воздействия (функционал) одних подсистем на

другие по всей совокупности отношений, а также воздействия внешней среды по всей совокупности взаимосвязей системы и среды.

$$F(S_h) = F(k_j^{S_h}; F(S_q)) \quad (13)$$

Иными словами, функция системы есть функционал параметров подсистем организации и влияния подсистем внутренней

и внешней среды по всей совокупности отношений.

$$F(L_\beta) = F(k_p^{L_\beta}; F(S_h)) \quad (14)$$

Выражение (14) можно прочитать следующим образом: изменение среды зависит от параметров входящих в нее подсистем и влияния на нее рассматриваемой системы по всей совокупности отношений.

Серьезнейшей проблемой синтеза системы является получение конкретных аналитических выражений названных математических функций (моделей системы).

Отметим, что не всякая модель может быть использована на практике. Иногда модель может включать в себя параметры, получение конкретных значений которых проблематично. Они могут не содержаться в стандартной системе отчетности организации и требовать дополнительных измерений, провести которые может быть затруднительно по различным причинам.

Если существует возможность проверить модель на практике с помощью имеющихся показателей, то такую модель называют вычислимой моделью.

Построение вычислимой модели организации является итогом синтеза системы.

В дальнейшем эта модель может использоваться для различных целей: прогнозирования развития организации; оптимизации параметров подсистем организации; анализа структуры организации и т.п.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анфилатов В.С., Емельянов А.А., Кукушкин А.А. Системный анализ в управлении: Учеб. пособие / Под ред. А.А. Емельянова. – М., 2002.
2. Волкова В.Н. Искусство формализации: От математики – к теории систем, и от теории систем – к математике. – СПб., 1999; Изд. 2-е. – СПб., 2004.
3. Гайдес М.А. Общая теория систем (системы и системный анализ). – М., 2005..
4. Козлов В.Н. Системный анализ и принятие решений: Учеб. пособие. – СПб., 2000.
5. Новосельцев В.И., Тарасов Б.В., Голиков В.К. Теоретические основы системного анализа. – М., 2006.
6. Попов В.Н., Касьянов В.С., Савченко И.П. Системный анализ в менеджменте. – М., 2007.

#### REFERENCES

1. Anfilatov, V.S., Emelyanov, A.A., Kukushkin, A.A. Sistemny analiz v upravlenii: Ucheb. posobiye [System analysis in management: Textbook] / Ed. by A.A. Emelyanov. Moscow, 2002. (In Russian).
2. Volkova, V.N. Iskusstvo formalizatsii: Ot matematiki – k teorii system, i ot teorii system – k matematike [Art of Formalization: From mathematics to the systems theory and from the theory of systems to mathematics]. Saint Petersburg, 1999; Second edition. Saint Petersburg, 2004. (In Russian).
3. Gaides, M.A. Obshchaya teoriya system (sistemy i sistemny analiz) [General theory of systems (systems and system analysis)]. Moscow, 2005. (In Russian).
4. Kozlov, V.N. Sistemny analiz i prinaytiye resheniy: Ucheb. Posobiye [System analysis and decision-making: a study guide. Saint Petersburg, 2000. (In Russian).
5. Novoseltsev, V.I., Tarasov, B.V., Golikov, V.K. Teoreticheskiye osnovy sistemnogo analiza [Theoretical foundations of systems analysis]. Moscow, 2006. (In Russian).
6. Popov, V.N., Kasyanov, V.S., Savchenko, I.P. Sistemny analiz v menedgmente [System analysis in management]. Moscow, 2007. (In Russian).

*O.V. Shulgin*  
Nizhnevartovsk, Russia

#### SETTING THE PROBLEM OF ORGANIZATIONAL SYSTEM ANALYSIS AND SYNTHESIS

**Abstract.** This paper studies organizational systems as open systems and it is devoted to the problems of formalizing the organizational structure of systems in close connection with their system functions (problems of system analysis and synthesis). The work is aimed at setting a general problem of analysis and synthesis of organizational systems and is based on the theory of systems and system analysis methods.

Here we consider the general problem of organizational system analysis and synthesis through a system approach. Each task is a series of consistently formulated subtasks. The work raises the problems of determining the parameters characterizing elementary objects of organizational systems and gives an idea of elementary functions implemented by these objects, as well as of the relationships between them. We study the peculiarities of analysis of closed and open systems and introduce a description of the relationship between system elements as square matrices. The work sets the problems of environmental impact on the system's structure, characterizes dependent and independent subsystems and sets a task of system synthesis within the definition of emergent functions (system functions). We consistently set forth synthesis subtasks through defining mathematical functions of environmental impact on the system and its state, system's impact on the external environment, and changes in the environment impacted by the system.

The research resulted in defining the key areas and algorithm for simulating structural relationships of organizational systems relevant for the development of simulation models of organization's operation and design of information systems for corporate management.

**Key words:** system; systems analysis; modeling of organizational systems.

**About the author:** Oleg Valerjevich Shulgin, Candidate of Economic Sciences, Assistant Professor at the Department of Mathematics and Methods of Teaching Mathematics.

**Place of employment:** Nizhnevartovsk State University.

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ**

УДК 630\*867.5.674.049.2:519.23

*А.С. Кривоногова, Н.А. Белоногова, А.Р. Бирман*  
*Санкт-Петербург, Россия***ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ПРОЦЕССА ГЛУБОКОГО УПЛОТНЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

**Аннотация.** В статье исследованы и систематизированы известные и получены новые экспериментальные данные по изменению физико-механических свойств уплотненной древесины. Выявлены закономерности изменения физико-механических характеристик древесины при ее уплотнении. Установлены деформативные свойства древесины мягких лиственных пород, необходимые для разработки режимов уплотнения и определения их параметров. Определены возможности полноценной замены ценных пород дерева и других дефицитных и дорогостоящих материалов уплотненной древесины. Проанализированы формы функциональных зависимостей для физико-механических характеристик уплотненной древесины от ее плотности. Рассматривались значения коэффициентов качества (прочности, твердости и износа) и их применение при максимально возможном уплотнении. Выявлены точные методы решений, служащие средством изучения процесса глубокого уплотнения. Предложена методика расчета экспериментального определения эксплуатационных характеристик. Проведенные исследования были направлены на систематизацию известных и получение новых экспериментальных данных по изменению физико-механических свойств уплотненной, в том числе и контурным способом, древесины, в том числе – осины. При исследовании физико-механических свойств древесины наблюдается весьма существенный разброс результатов измерений. Это объясняется влиянием большого числа независимых друг от друга факторов. Данное обстоятельство в еще большей степени имеет место при испытаниях уплотненной древесины, так как ко всем ранее действующим факторам прибавляется наличие условий и режимов прессования. Поэтому для объективного суждения о закономерностях изменения физико-механических свойств уплотненной древесины необходим тщательный статистический анализ большого числа опытов. Задачи статистического исследования можно свести к определению оптимальных областей промышленного применения уплотненной древесины и ее перспектив, определению наиболее выгодных степеней уплотнения в зависимости от характера использования и анализа зависимости характеристик уплотненной древесины от плотности. Целью этих исследований было, во-первых, установление деформативных свойств древесины мягких лиственных пород, необходимых для разработки режимов уплотнения и определения их параметров, во-вторых, выяснение возможности полноценной замены ценных пород дерева и других дефицитных и дорогостоящих материалов уплотненной древесины, и, в третьих, выявление закономерностей изменения физико-механических характеристик древесины при ее уплотнении с тем, чтобы получить возможность прогнозировать эти свойства.

**Ключевые слова:** древесина; физико-механические характеристики; уплотнение древесины; статистический анализ.

**Сведения об авторе:** Кривоногова Александра Станиславовна<sup>1</sup>, доцент кафедры начертательной геометрии и графики; Белоногова Наталья Александровна<sup>2</sup>, кандидат технических наук, заведующая кафедрой начертательной геометрии и графики; Бирман Алексей Романович<sup>3</sup>, доктор технических наук, профессор кафедры технологии лесозаготовительных производств.

**Место работы:** Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова<sup>1, 2, 3</sup>.

**Контактная информация:** 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5; тел.: 8-812-6709334<sup>1</sup>; 8-812-6709334<sup>2</sup>.

E-mail: krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com<sup>1</sup>; graphics.spbftu@gmail.com<sup>2</sup>; birman1947@mail.ru<sup>3</sup>.

Проведенные исследования были направлены на систематизацию известных и получение новых экспериментальных данных по изменению физико-механиче-

ских свойств уплотненной, в том числе и контурным способом, древесины, в частности, осины [1–13].

Задачи теоретического обоснования можно свести к определению оптимальных областей промышленного применения уплотненной древесины и ее перспектив, нахождению наивыгоднейших степеней уплотнения в зависимости от характера использования и анализа зависимости характеристик уплотненной древесины от плотности.

Целью этих исследований было, во-первых, установление деформативных свойств древесины мягких лиственных пород, необходимых для разработки режимов уплотнения и определения их параметров, во-вторых, выяснение возможности полноценной замены ценных пород дерева и других дефицитных и дорогостоящих материалов уплотненной древесины, и, в-третьих, выявление закономерностей изменения физико-механических характеристик древесины при ее уплотнении с тем, чтобы получить возможность прогнозировать эти свойства [1; 2; 12; 13].

Методика статистического анализа базировалась на выявлении параметров функциональных взаимосвязей физико-механических характеристик уплотненной древесины от ее плотности и степени уплотнения. После установления формы зависимости и определения ее параметров по экспериментальным данным была найдена степень приближения последних к аппроксимирующим зависимостям [9; 13].

В качестве исходных приняты аппроксимирующие зависимости физико-механических характеристик от плотности. Вид этих зависимостей был установлен при систематизации большого объема известных экспериментальных данных [2; 9; 12; 13].

Определялись и анализировались параметры уравнений, аппроксимирующих физико-механические характеристики в функции от плотности. Кроме того, здесь же выявлялось взаимовлияние указанных величин. По аппроксимирующим зависимостям для физико-механических характеристик определялись законы изменения со-

ответствующих удельных характеристик [12; 13].

При исследовании физико-механических свойств древесины наблюдается весьма существенный разброс результатов измерений. Это объясняется влиянием большого числа независимых друг от друга факторов. Данное обстоятельство в еще большей степени имеет место при испытаниях уплотненной древесины, так как ко всем ранее действующим факторам прибавляется наличие условий и режимов прессования. Поэтому для объективного суждения о закономерностях изменения физико-механических свойств уплотненной древесины необходим тщательный статистический анализ большого числа опытов.

Ранее проведенными исследованиями [1–13] были установлены формы функциональных зависимостей для физико-механических характеристик уплотненной древесины от ее плотности [3–5; 9]. Эти зависимости для большинства прочностных и упругих характеристик близки к линейным, а для показателей износа и твердости иногда могут аппроксимироваться квадратичными или экспоненциальными функциями. После того, как вид аппроксимирующей функции известен, определение ее параметров по экспериментальным данным не представляет каких-либо принципиальных трудностей.

Проанализированы параметры аппроксимирующих функций. Эти параметры определялись по методу наименьших квадратов. Выявление аппроксимирующих зависимостей для характеристик уплотненной древесины в явном виде преследовало ряд целей [2; 9].

Прежде всего, было необходимо выяснить, при каких эксплуатационных нагрузениях или условиях работы уплотненная древесина даст наибольший эффект. Это позволяет в дальнейшем выделить оптимальные области ее использования [9; 12; 13].

Во-вторых, существует острая потребность выявить характер и интенсив-

ность изменения различных физико-механических характеристик при уплотнении древесины. Это, с одной стороны, позволит выяснить рациональные степени уплотнения при различных видах нагружения. С другой стороны, экстраполяция полученных зависимостей может уточнить перспективы уплотненной древесины как нового конструкционного материала [6–8].

В-третьих, аналитическое выражение закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотненной древесины в функции от ее плотности или объемной массы позволяет перейти к соответствующим закономерностям применения характеристик от степени уплотнения. Аналогично определяются аналитические зависимости для коэффициентов качества или удельных характеристик уплотненной древесины. Эти зависимости позволяют в самой общей форме исследовать и определять критерии экономической и технической целесообразности уплотненной древесины, которые, естественно, неразрывно

связаны с физико-механическими характеристиками [7–13].

Таким образом, задачи статистического анализа можно свести к следующему:

1. Определение оптимальных областей промышленного применения уплотненной древесины и ее перспектив.

2. Определение наивыгоднейших степеней уплотнения в зависимости от характера использования.

3. Подготовка аналитических закономерностей для установления и анализа технического и экономического критериев рациональности уплотненной древесины [2–4; 9–13].

Проведем анализ зависимости характеристик уплотненной древесины от плотности. Рассмотрим зависимости характеристик прочности и жесткости.

Физико-механические характеристики уплотненной древесины, выраженные коэффициентом  $k$  и определяющие ее прочность и жесткость, в подавляющем большинстве случаев могут быть представлены как линейные функции от удельного веса:

$$K = a + b\gamma, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – удельный вес;  $a$  и  $b$  – аппроксимирующие коэффициенты.

Исходя из этой основной зависимости, можно получить зависимости характеристик от степени уплотнения. Если воспользоваться выражением степени уплотнения по начальным параметрам элемента [9; 12; 13]

$$\varepsilon_1 = \frac{\gamma - \gamma_0}{\gamma},$$

то получим

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{1 - \varepsilon_1}$$

и, соответственно,

$$K = a + \frac{b\gamma_0}{1 - \varepsilon_1} = \frac{a + b\gamma_0 - a\varepsilon_1}{1 - \varepsilon_1} = \frac{K_0 - a\varepsilon_1}{1 - \varepsilon_1}, \quad (2)$$

где  $K_0 = a + b\gamma_0$  – начальное значение физико-механической характеристики натуральной древесины.

При использовании степени уплотнения по конечным размерам

$$\varepsilon_2 = \frac{\gamma - \gamma_0}{\gamma} = \frac{\gamma}{\gamma_0} - 1$$

имеем

$$\gamma = \gamma_0(\varepsilon_2 + 1),$$

и основная зависимость после подстановки принимает вид

$$K = a + b\gamma_0(\varepsilon_2 + 1) = K_0 + b\gamma_0\varepsilon_2. \quad (3)$$

Учитывая, что  $b\gamma_0 = K_0 - a$ , зависимость (1.3) можно представить

$$K = K_0 + (K_0 - a) \cdot \varepsilon_2. \quad (3a)$$

Наконец, при использовании логарифмического показателя уплотнения

$$\gamma = \gamma_0 l^{\varepsilon_x}.$$

$$\varepsilon_l = l_n \frac{\gamma}{\gamma_0},$$

Зависимость физико-механических характеристик от логарифмического показателя уплотнения принимает вид

имеем

$$K = a + b\gamma_0 l^{\varepsilon_l} = a + (K_0 - a) \cdot l^{\varepsilon_l}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_l$  – логарифмический показатель уплотнения.

Таким образом, все функциональные зависимости характеристики от степени уплотнения находятся через коэффициенты основной зависимости от объемного веса (1), через коэффициенты линейной аппроксимации  $a$  и  $b$ .

Определение этих коэффициентов производилось по экспериментальным дан-

ным методом наименьших квадратов. Вычислялись теоретические значения физико-механических параметров по найденным уравнениям, а также отклонения теоретических значений от результатов эксперимента. Вычислены коэффициенты  $a$  и  $b$ , а также найдены с их помощью значения характеристик

$$K_0 = a + b\gamma_0 \text{ и } K_{\max} = a + b\gamma_{\max} \quad (5)$$

Под  $\gamma_{\max}$  подразумевается плотность древесины при максимальном уплотнении  $\gamma_{\max} = 1,5 \text{ г/см}^3$ .

Были подсчитаны абсолютные и относительные интервалы изменения физико-механических характеристик, т.е. величины

$$\Delta K = K_{\max} - K_0 \text{ и } \frac{\Delta K}{K_0} = \frac{K_{\max} - K_0}{K} \quad (6)$$

Было выявлено, что прирост характеристик прочности при уплотнении увеличивается для пород с меньшей начальной плотностью. Это объясняется тем, что при малом начальном удельном весе диапазон уплотнения до максимальной степени при  $\gamma_{\max} = 1,54 \text{ г/см}^3$ , соответственно, возрастает. Таким образом, древесина с малой плотностью, и прежде всего осина, является более благоприятным сырьем для уплотнения с точки зрения результата. Кроме того, процесс уплотнения древесины с малой плотностью проще осуществим. Для оценки сопоставимого прироста абсолютных и относительных значений характеристик

прочности и упругости может служить величина коэффициента регрессии « $b$ » [9].

По данным значения коэффициентов регрессии для различных пород и различных видов деформирования можно сделать следующие выводы:

1. Наивысший рост прочности от уплотнения древесины имеет место при ее работе на статический изгиб.
2. Значительно возрастает прочность уплотненной древесины при сжатии ее вдоль волокон и поперек волокон в радиальном направлении.
3. Прочность уплотненной древесины при сжатии поперек волокон в тангентальном

направлении растет значительно слабее (примерно в 2 раза), чем при сжатии вдоль волокон.

4. Лиственные породы обнаруживают значительно большие колебания прочности при уплотнении, чем хвойные породы.

5. Сравнительно медленнее при уплотнении возрастает прочность на скалывание и раскалывание.

6. Медленно возрастает при уплотнении сопротивляемость древесины ударному изгибу.

Большой фактический экспериментальный материал, проанализированный в данной работе, позволяет сделать обоснованные выводы о технической целесообразности уплотнения древесины [2; 3; 5; 7]. В качестве критерия таковой целесообразности может служить изменение при уплотнении эксплуатационных характеристик древесины. Прирост коэффициентов эксплуатационных характеристик при уплотнении характеризует целесообразность этого процесса. Наоборот, уменьшение их величины определяет заведомую невыгодность уплотнения (для износа целесообразность уплотнения определяется обратным отмеченному изменению коэффициента качества) [4–6; 9; 13].

Рассматривались значения коэффициентов эксплуатационных характеристик (прочности, твердости и износа) и их применение при максимально возможном уплотнении. Проанализировав эти данные, можно сделать следующие выводы:

1. Эксплуатационные характеристики на сжатие вдоль волокон и изгиб для всех пород при уплотнении не обнаруживают какого-либо возрастания. Следовательно, применение уплотненной древеси-

ны для изгиба или сжатия вдоль волокон технически нецелесообразно.

2. Значительно возрастают при уплотнении эксплуатационные характеристики при сжатии поперек волокон (в тангентальном и радиальном направлениях). Возрастание доходит до 500–800%, причем на сжатие в радиальном направлении интенсивность возрастания коэффициента качества в два раза больше, чем при сжатии в тангентальном направлении. Таким образом, уплотненную древесину целесообразно применять в тех элементах, где она работает на сжатие поперек волокон.

3. Эксплуатационные характеристики на скалывание и раскалывание при уплотнении возрастают. Однако отмеченное явление наблюдалось только для березы. Для других пород экспериментальные исследования недостаточны и должны быть продолжены. Тем не менее, применение уплотненной древесины для работы на скалывание можно считать целесообразным.

4. Эксплуатационные характеристики на ударный изгиб существенно снижаются при уплотнении. Таким образом, при динамических нагружениях уплотненную древесину следует применять с осторожностью; тем более, что ударная твердость также обнаруживает падение.

5. Эксплуатационные характеристики по твердости и износу обнаруживают существенное возрастание. Причем сильнее всего растет твердость по радиальной поверхности. При определяющем влиянии износа от уплотненной древесины, в наибольшей степени осины, можно ожидать большего эффекта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы Международной научно-технической конференции // Новые направления использования древесины осины и ее отходов / А.Р. Бирман, Н.А. Белоногова. – Вологда, 2009.

2. Базаров С.М., Куницкая О.А. К проблеме производства материалов с новыми физико-химическими свойствами на основе заполнения древесины компонентами // Материалы II международной научно-практической интернет-конференции «Леса России в 21 веке». – СПб., 2009. – С. 152–155.

3. Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. Борирование древесины пропиткой с целью повышения ее нейтронозащитных свойств // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 208 (№ 972). – СПб., 2014. – С. 130–137.
4. Бирман А.Р., Кривоногова А.С. Использование методов пропитки длинномерных сортиментов // Вестник Нижневартковского гос. ун-та: Математические и естественные науки. – Нижневартовск, 2015. – № 1. – С. 45–48.
5. Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А. Определение коэффициента фильтрации и параметров процесса пропитки древесных углей в поле центробежных сил // Научное обозрение. – 2015. – № 7. – С. 238–244. (№ 1346).
6. Бирман А., Соколова В.А., Кривоногова А.С. Пропитка древесины гидростатическим способом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сб. науч. тр. по материалам заоч. науч.-практич. конф. – Воронеж, 2014. – № 5. – Ч. 4. – С. 33–38.
7. Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. Торцовая пропитка длинномерных сортиментов // Научное обозрение. – 2014. – № 7. – С. 281–285. (№ 1346).
8. Кривоногова А.С. Математическая модель процесса пропитки капиллярно-пористых структур водными растворами пероксида // Научное обозрение. – 2015. – № 7. – С. 251–257. (№ 1346).
9. Кривоногова А.С. Методика статистического анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотненной древесины // Научное обозрение. – 2015. – № 7. – С. 244–251. (№ 1346).
10. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Нгуен Ван Тоан. Описание математической модели технологии процесса пропитки капиллярно-пористых структур // Международный научный журнал «Educatio». – Новосибирск, 2015. – № 4 (11). – Ч. 4. – С. 81–83.
11. Кривоногова А.С., Бирман А.Р. Пропитка капиллярно-пористых структур встречно-центробежным способом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сб. тр. по материалам международной заочной науч.-практич. конф. – Воронеж, 2015. – № 2. – Ч. 1. – С. 236–240.
12. Кривоногова А.С. Совершенствование технологии подготовки древесины мягких лиственных пород для производства угля высокого качества: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2015.
13. Кривоногова А.С., Нгуен Ван Тоан, Соколова В.А., Бирман А.Р. Статистические показатели эксплуатационных характеристик модифицированной древесины // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сб. тр. по материалам международной заочной науч.-практич. конф. – Воронеж, 2015. – № 2. – Ч. 2. – С. 239–243.

## REFERENCES

1. Aktualnye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Topical issues of forestry complex development: Proceedings of the international scientific and technical conference] // Noviyе napravleniya ispolzovaniya drevesiny osiny i ejo otkhodov / A.R. Birman, N.A. Belonogova. Vologda, 2009. (In Russian).
2. Bazarov, S.M. K probleme proizvodstva materialov s novymi fiziko-khimicheskimi svoystvami na osnove zapolneniya drevesiny komponentami [On the problem of producing materials with new physical and chemical properties based on filling the timber with components] / Bazarov, S.M., Kunitskaya, O.A. // Materialy II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii “Lesа Rossii v 21 veke”. Saint Petersburg, 2009. P. 152–155. (In Russian).
3. Birman, A.R. Borirovaniye drevesiny propitkoy s tseliyu povysheniya ejo neitronozashchitnykh svoystv [Wood borating to improve wood neutron protective properties] / Birman, A.R., Sokolov, V.A., Krivonogova, A.S. // Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii]. Vol. 208 (№ 972). Saint Petersburg, 2014. P. 130–137. (In Russian).
4. Birman, A.R. Ispolzovaniye metodov propitki dlinnomernykh sortimentov [Impregnation of long wood logs] / Birman, A.R., Krivonogova, A.S. // Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta [The Bulletin of Nizhnevartovsk State University: Mathematical and Natural Sciences]. Nizhnevartovsk, 2015. № 1. P. 45–48. (In Russian).
5. Birman, A.R. Opredeleniye koeffitsienta filtratsii i parametrov protsessа propitki drevesnykh uglej v pole tsentrobezhnykh sil [Measuring the filtration coefficient and wood coal impregnation parameters in the centrifugal force field] / Birman, A.R. Krivonogova, A.S., Sokolova, V.A. // Nauchnoye obozreniye. 2015. № 7. P. 238–244. (№ 1346) (In Russian).
6. Birman A. Propitka drevesiny gidrostatcheskim sposobom [Hydrostatic wood impregnation] / Birman, A.R., Sokolov, V.A., Krivonogova, A.S. // Aktualniye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya

i praktika: Sb. nauch. tr. po materialam zaoch. nauch.-praktich. konf. Voronezh, 2014. № 5. Part 4, P. 33–38. (In Russian).

7. Birman, A.R. Tortsovaya propitka dlennomernykh sortimentov [Frontal impregnation of long logs] / Birman A.R., Sokolov V.A., Krivonogova A.S. // Nauchnoye obozreniye. 2014. № 7. P. 281–285. (№ 1346). (In Russian).

8. Krivonogova, A.S. Matematicheskaya model protsessa propitki kapillyarno-poristykh struktur vodnymi rastvorami peroksida [Mathematical model of capillary-porous woodstructure impregnation with peroxide aqueous solution] // Nauchnoye obozreniye. 2015. № 7. P. 251–257. (№ 1346). (In Russian).

9. Krivonogova, A.S. Metodika statisticheskogo analiza zakonernostey izmeneniya fiziko-mekhanicheskikh kharakteristik uplotnennoy drevesiny [Methods of statistical analysis of changes in physical and mechanical properties of compacted wood] // Nauchnoye obozreniye. 2015. № 7. P. 244–251. (№ 1346). (In Russian).

10. Krivonogova, A.S. Opisaniye matematicheskoy modeli tekhnologii protsessa propitki kapillyarno-poristykh struktur vodnimi rastvorami peroksida [Mathematical model of the impregnation process in capillary-porous wood structures] / Krivonogova, A.S., Birman, A.R., Nguyen Van Toan // Educatio. 2015. № 4 (11). Part 4. Novosibirsk, P. 81–83. (In Russian).

11. Krivonogova, A.S. Propitka kapillyarno-poristykh struktur vstrechno-tsentrobeznyim sposobom [Counter-centrifugal impregnation of capillary-porous wood structures] / Krivonogova, A.S., Birman, A.R. // Aktualniye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: Sb. nauch. tr. po materialam zaoch. nauch.-praktich. konf. 2015. № 2. Part 1. Voronezh, P. 236–240. (In Russian)

12. Krivonogova, A.S. Sovershenstvovanye tekhnologii podgotovki drevesiny myagkikh listvennykh porod dlya proizvodstva uglya vysokogo kachestva: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Improving the technology of preparing soft leaf wood for high-quality coal production: Author's abstract of Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences]. Saint Petersburg, 2015. (In Russian).

13. Krivonogova, A.S. Statisticheskyye pokazateli ekspluatatsionnykh kharakteristik modifitsirovannoy drevesiny [Statistical indicators of the modified wood operational performance / Krivonogova, A.S., Nguyen Van Toan, Sokolova, V.A., Birman, A.R. // Aktualniye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: Sb. nauch. tr. po materialam zaoch. nauch.-praktich. konf. 2015. № 2. Part 2. Voronezh, P. 239–243. (In Russian).

*A.S. Krivonogova, N.A. Belinogova, A.R. Birman  
St. Petersburg, Russia*

## THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN DEEP WOOD COMPACTION AND OPERATING CHARACTERISTICS

**Abstract.** The following paper studies and classifies the existing and new experimental data on changes in physical and mechanical properties of compressed wood. Here we have determined the patterns of changes in physical and mechanical characteristics of compressed wood, deformation properties of soft leaf wood required to develop compaction modes and wood parameters, and opportunities for a complete substitute of precious wood and other scarce and expensive compressed wood materials. We have analyzed the functional dependencies on wood density for physical and mechanical characteristics of the compressed wood, considered the values of quality factors (strength, hardness and wear) and their application at the highest possible compaction and revealed the exact methods for studying the process of deep compaction. The work offers a method for calculating the experimental observation of wood performance parameters. The research is focused on systematizing the existing experimental data and obtaining new data on the changes in physical and mechanical properties of compressed wood, including aspen wood. When studying physical and mechanical properties of wood, a substantial variation of measurement results is observed due to a large number of independent factors. This is particularly true when testing compacted wood, since various conditions and compaction modes are to be considered. Therefore, to achieve objective view on the principles regulating the changes in physical and mechanical properties of compressed wood, one requires careful statistical analysis of many experiments. For the most part, statistical analysis is aimed at identifying the optimal industrial use of compressed wood and prospects of such use, finding the most profitable degrees of wood compaction depending on its use, and analysing compressed wood characteristics depending on its density.

The present studies were aimed at determining deformation properties of soft leaf wood required to develop compaction modes and identify their parameters, clarifying the opportunities for a complete substitution of precious wood and other scarce and expensive compressed wood materials, and identifying the principles regulating the changes in physical and mechanical properties of compressed wood in order to predict these properties.

**Key words:** wood; physical and mechanical properties of wood; wood compaction; statistical analysis.

**About the authors:** Alexandra Stanislavovna Krivonogova, Assistant Professor at the Department of Descriptive Geometry and Graphics; Natalia Aleksandrovna Belonogova, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Descriptive Geometry and Graphics; Aleksey Romanovich Birman, Candidate of Technical Sciences, Professor at the Department of Logging Technologies.

**Place of employment:** Saint Petersburg State Forest Technical University.

---

---

УДК 665.112.1

*А.А. Пурецкий, С.Н. Бутова, С.Ю. Солдатова*  
*Москва, Россия*

### РАЗРАБОТКА МАЙОНЕЗНОГО СОУСА С ДОБАВЛЕНИЕМ ОБЛЕПИХОВОГО МАСЛА

**Аннотация.** Облепиховое масло содержит комплекс полезных ингредиентов, в частности, оптимальное соотношение омега-3 и омега-6 жирных кислот, является лидером по содержанию витаминов группы А и Е. Введение облепихового масла в состав масложировых продуктов способствует повышению их биологической ценности.

В работе рассматривается один из видов биологически активных компонентов, который может увеличить функциональность продукта, – облепиховое масло. Функциональные пищевые продукты занимают промежуточное место между продуктами массового потребления и лечебными продуктами. Целью данной работы была разработка майонезного соуса повышенной биологической ценности с облепиховым маслом.

Методика исследования учитывала особенности быстрого окисления и распада облепихового масла при различных технологических процессах. Одним из показателей ценности облепихового масла является содержание токоферолов, каротиноидов.

Для экспериментов использовали масло, полученное первичным прессованием из семян облепихи Крушевидной. Семена являются вторичным сырьем после получения сока из ягод облепихи. После сушки до влажности 7% семена отправляли в шнек-пресс для получения масла.

Окислительную стабильность свежесжатого облепихового масла изучали путем еженедельного определения показателей кислотного и перекисного чисел (ПЧ и КЧ) на протяжении трех месяцев. В качестве стандарта сравнения было выбрано рафинированное дезодорированное подсолнечное масло, которое является традиционным жировым компонентом майонезов и майонезных соусов. Хранение образцов масла осуществляли при комнатной температуре на свету.

Далее были разработаны рецептуры майонезного соуса с добавлением облепихового масла, оценено их качество и окислительная стабильность.

Результатом работы стало определение путей использования облепихового масла в чистом виде для производства масложировых продуктов: майонеза, маргарина, спреда.

**Ключевые слова:** масло; функциональность продукта; токоферол; каротиноиды; майонез; окисление.

**Сведения об авторах:** Александр Александрович Пурецкий, аспирант Московского государственного университета пищевых производств; Светлана Николаевна Бутова, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой биотехнологии и технологии продуктов биоорганического синтеза; Светлана Юрьевна Солдатова, кандидат технических наук, доцент кафедры биотехнологии и технологии продуктов биоорганического синтеза.

**Место работы:** ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет пищевых производств».

**Контактная информация:** 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11; тел.: 8-499-750-01-11, 8-909-651-32-26. E-mail: zhirmgupp@mail.ru, puretskiy\_alex@mail.ru.

---

В современной структуре питания функциональные пищевые продукты занимают промежуточное место между продуктами массового потребления и лечебными продуктами.

Понятие «функциональные продукты» подразумевает пищевые продукты массового потребления с традиционным вкусом, характерным для определенной категории продуктов, но приносящие дополнительную пользу здоровью благодаря их обогащению биологически активными веществами в том числе. К функциональным продуктам относятся «продукты, которые подвергаются элиминации, обогащению или замене по составу нутриентов и биологически активных веществ» [1].

Одним из биологически активных компонентов, который может увеличить функциональность продукта, является облепиховое масло. Оно содержит комплекс полезных ингредиентов, в частности, оптимальное соотношение омега-3 и омега-6 жирных кислот, является лидером по содержанию витаминов группы А и Е. Введение облепихового масла в состав масложировых продуктов, таких как майонезы и майонезные соусы, повысит их биологическую ценность.

Однако облепиховое масло – сложная смесь композитных органических веществ, в состав ее входят непредельные соединения (ненасыщенные жирные кислоты), которые могут легко окисляться, что снижает биологическую активность масла. Присутствие достаточно большого количества непредельных соединений с высокой скоростью окисления обуславливает относительную нестойкость облепихового масла при хранении [3].

Качество масла зависит от нескольких основных показателей: качества исходного сырья, технологии получения масла и условий его хранения.

Оценить качество масла можно по показателям перекисного и кислотного чисел, содержанию токоферолов, каротиноидов [2].

На практике для получения облепихового масла чаще всего используются методы экстракции сырья такими реагентами как фреон-12, гексан и т.д. Такие масла, даже при максимально полном удалении экстрагента, не рекомендуется употреблять в пищевой промышленности, они используются, как правило, в косметических изделиях.

Для пищевой промышленности интерес представляют масла, полученные путем прямого прессования. Однако, ввиду присутствия в таких маслах сопутствующих веществ, они в большей степени подвержены окислительной порче, а следовательно, благодаря этому они влияют на окислительную стабильность продуктов, в состав которых они входят. Поэтому вопросы окислительной стабильности облепихового масла прямого отжима имеют большое значение [4].

Целью данной работы была разработка майонезного соуса повышенной биологической ценности с облепиховым маслом. Для достижения данной цели были поставлены задачи:

- оценить динамику процессов окислительной порчи облепихового масла в процессе хранения;
- разработать рецептуру майонезного соуса с учетом основных показателей порчи жиров;
- провести органолептическую оценку качества полученного продукта.

*Экспериментальная часть.*

Для экспериментов использовали масло, полученное первичным прессованием из семян облепихи Крушевидной. Семена являются вторичным сырьем после получения из ягод облепихового сока. После

сушки до влажности 7% семена отправляли в шнек-пресс для получения масла.

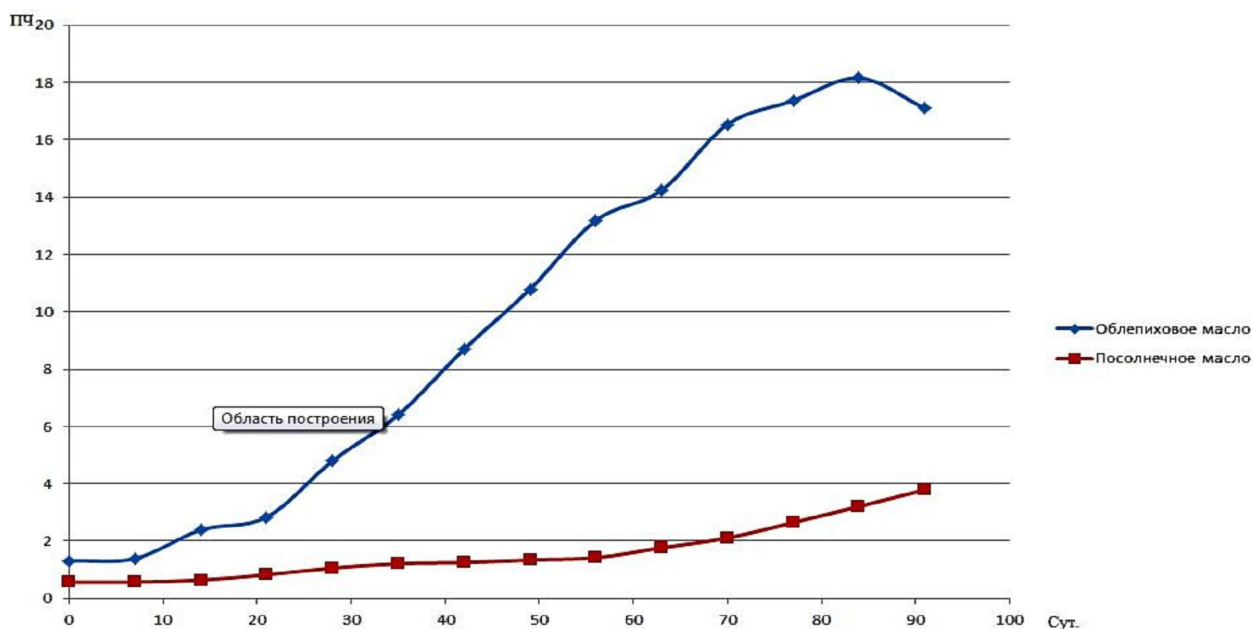
Окислительную стабильность свежесжатого облепихового масла изучали путем еженедельного определения показателей кислотного и перекисного чисел (ПЧ и КЧ) на протяжении трех месяцев. В качестве стандарта сравнения было выбрано рафинированное дезодорированное подсолнечное масло, которое является традиционным жировым компонентом майонезов и майонезных соусов. Хранение образцов

масла осуществляли при комнатной температуре на свету.

Далее были разработаны рецептуры майонезного соуса с добавлением облепихового масла, оценено их качество и окислительная стабильность.

#### *Результаты и их обсуждение.*

На рис. 1 приведены кривые изменения перекисного числа облепихового и подсолнечного масла в течение трех месяцев хранения.



**Рис. 1.** Изменение перекисного числа облепихового и подсолнечного масел при хранении

Из графика видно, что облепиховое масло подвержено окислению значительно больше, чем подсолнечное. Так, период инициации процесса окисления для обле-

пихового масла составил 20 суток, а для подсолнечного – 80.

На рисунке 2 приведены кривые изменения кислотного числа облепихового и подсолнечного масел.

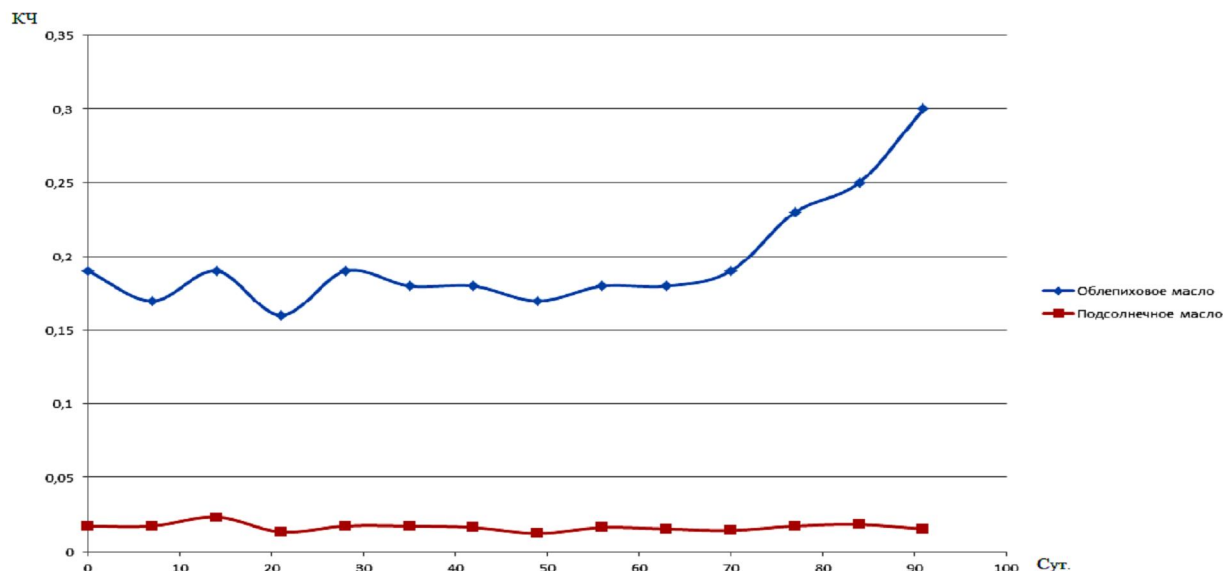


Рис. 2. Изменение кислотного числа облепихового и подсолнечного масел при хранении

На основании приведенных данных можно сделать вывод, что КЧ обоих масел в процессе хранения почти не изменялось вплоть до 70-х суток хранения. Далее кислотное число облепихового масла стало резко увеличиваться, что говорит об усилении гидролитических процессов. В конце срока исследования кислотное число у облепихового масла было в несколько раз выше, чем у подсолнечного.

Из приведенных выше графиков можно сделать вывод, что использовать облепиховое масло в чистом виде для производства масложировых продуктов (майонеза, маргарина, спреда) не целесообразно, так как устойчивость полученных продуктов к окислению будет довольно низкой, по сравнению с продуктами, в составе которых присутствует обычное рафинированное дезодорированное подсолнечное масло.

Однако, ввиду высокой биологической ценности облепихового масла, необходимо найти пути его применения без изменения окислительной стабильности конечного масложирового продукта.

Решением данной проблемы может быть частичная замена в рецептуре таких продуктов подсолнечного масла на облепиховое. Процент замены определялся нами, исходя из литературных данных о содержании биологически активных веществ в облепиховом масле и с учетом рекомендуемых норм потребления некоторых биологически активных веществ. Расчет велся по олеиновой, линолевой, линоленовой кислотам, по витаминам А и Е.

Базовая эмульсия (без добавления облепихового масла) представлена в таблице.

Таблица

Рецептура майонезного соуса

Название компонента	Масса на 100 г
Подсолнечное масло рафинированное	42,68
Крахмал натуральный	4,27
Сухое молоко	5,34
Сахар	1,60
Соль поваренная пищевая	1,07

Таблица. Продолжение

Название компонента	Масса на 100 г
Название компонента	Масса на 100 г
Горчичный порошок	0,40
Уксусная кислота для пищевой промышленности 80%	0,59
Натрий двууглекислый	0,05
Вода	До 100%

Далее в данной эмульсии часть подсолнечного масла была заменена на облепиховое масло, с учетом количества биологически активных веществ.

Были разработаны 4 образца с содержанием облепихового масла 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 г/%, проведены их испытания на соответствие нормативным документам по органолептическим и физико-химическим показателям, а также на окислительную стабильность при хранении (3 мес.). Образцом сравнения служил майонезный соус.

Органолептические характеристики соусов оценивались группой испытателей (15 человек) и получили среднюю оценку 9,6 балла по 10-балльной шкале. Качественные физико-химические показатели также были в норме. Исследования КЧ и ПЧ в динамике при хранении выявили некоторое ускорение. После исследований окислительной стабильности данных образцов был сделан вывод, что оптимальным является образец № 3 с содержанием облепихового масла 1%.

Из проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- Перекисное число облепихового масла вышло за пределы допустимого на 47-е сутки, что свидетельствует о содержании в нем большого количества антиоксидантов (Витамина Е), однако, чтобы сохранить масло в течение более длительного периода, необходимо использовать дополнительные антиоксиданты.

- Кислотное число практически не изменялась, т.е. масло устойчиво к воздействию воды.

- Поскольку в облепиховом масле содержится большое количество витаминов и антиоксидантов, одним из перспективных вариантов его использования в пищевой промышленности является создание функциональных жировых продуктов (например, майонез, маргарин)

- Был создан функциональный майонезный соус с добавлением облепихового масла.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пименова Н.С., Иванова Р.А., Шевнюк Л.А., Жигулева Е.А., Козлов Э.И., Цепалов В.Ф. Влияние антиоксидантов на сохранность облепихового масла // Химико-фармацевтический журнал. – 1982. – № 2. – С. 102–103.
2. Прохорова Л.Т., Журавлева Л.Р., Аюкова Т.П., Довглюк И.В., Лисицына И.А., Горшкова Э.И., Ладыгин В.В. Кинетика окисления некоторых растительных масел при комнатной температуре // Масло-жировая промышленность. – 2010. – № 2. – С. 26–30.
3. Пурецкий А.А., Бутова С.Н., Солдатова С.Ю., Петриченко В.Н. Разработка комплексной переработки растительного сырья на примере плодов облепихи // Аграрная Россия. – 2014. – № 2. – С. 38–39.
4. Эмануэль Н.М., Заиков Г.Е., Майзус З.К. Роль среды в радикально-цепных реакциях окисления органических соединений: Моногр. – М., 1973.

## REFERENCES

1. Pimenova, N.S., Ivanova, R.A., Shevnyuk, L.A., Zhiguleva, E.A., Kozlov, E.I., Tsepalov, V.F. Vliyanie antioksidantov na sokhrannost oblepikhovogo masla [Effect of antioxidants on the preservation of buckthorn oil]// *Khimiko-farmatsevtichesky zhurnal*. 1982. № 2. P. 102–103. (In Russian).
2. Prokhorova, L.T., Zhuravleva, L.R., Ayukova, T.P., Dovglyuk, I.V., Lisitsyna, I.A., Gorshkova, Je.I., Ladygin, V.V. Kinetika okisleniya nekotorykh rastitelnykh masel pri komnatnoy temperature [Oxidation of some vegetable oils at room temperature]// *Maslozhirovaya promyshlennost*. 2010. № 2. P. 26–30. (In Russian).
3. Puretsky, A.A., Butova, S.N., Soldatova, S.Yu., Petrichenko, V.N. Razrabotka kompleksnoy pererabotki rastitelnogo syrjya na primere plodov oblepikhi [Developing the technologies for complex processing of vegetable raw materials using buckthorn as an example]// *Agrarnaya Rossiya*. 2014. № 2. P. 38–39. (In Russian).
4. Emanuel, N.M., Zaikov, G.E., Majzus, Z.K. Rol sredey v radikalno-tsepnnykh reakciyakh okisleniya organicheskikh soedineniy: Monografiya [The role of the medium in the radical chain oxidation reactions of organic compounds: A monographic study]. Moscow, 1973. (In Russian).

*A.A. Puretsky, S.N. Butova, S.Yu. Soldatova*  
*Moscow, Russia*

## DEVELOPING A MAYONNAISE SAUCE FLAVOURED WITH BUCKTHORN OIL

**Abstract.** Buckthorn oil contains a complex of mineral ingredients, particular, an optimal balance of omega-3 and omega-6 fatty acids and a great amount of vitamins A and E. When added to oil and fat products, buckthorn oil contributes to their biological value.

This paper considers buckthorn oil as one of biologically active components able to improve a products functionality. Functional food products occupy an intermediate position between mass consumption products and medicinal products. This work is aimed at developing a mayonnaise sauce flavoured with buckthorn oil that would have an enhanced bioavailability.

As for research methodology, we have considered rapid oxidation and decomposition of buckthorn oil in various industrial processes and the content of tocopherols and carotenoids in buckthorn oil as a measure for assessing its biological value.

In our experiments, we have used the oil made from *Hippophaë rhamnoides* buckthorn seeds of primary compression. The seeds are secondary raw material remaining after using buckthorn berries for juice production. After being dried to contain 7% moisture, the seeds are screw-pressed to produce oil.

We studied the oxidative stability of fresh buckthorn oil by measuring acid and peroxide numbers weekly for three months. Refined, deodorized sunflower oil, a traditional fat component of mayonnaise and mayonnaise sauce, was taken as a reference standard. Oil samples were stored at room temperature in the light.

In the course of our study, we developed a recipe of a mayonnaise sauce flavoured with buckthorn oil, evaluated its quality and oxidative stability.

As a result, we identified ways of using buckthorn oil in its pure form in oil and fat food products, such as mayonnaise, margarine, and spreads.

**Key words:** oil; product functionality; tocopherol; carotenoids; mayonnaise; oxidation.

**About the authors:** Alexander Alexandrovich Puretsky, a graduate student at Moscow State University of Food Production; Svetlana Nickolaevna Butova, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Biotechnology and Technology of Bioorganic Synthesis Products; Svetlana Yurjevna Soldatova, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor at the Department of Biotechnology and Technology of Bioorganic Synthesis Products.

**Place of employment:** Moscow State University of Food Production.

## БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

УДК 51.007.004

*А.В. Копыльцов*  
Санкт-Петербург, Россия

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТА КИСЛОРОДА В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

**Аннотация.** Предложена трехмерная модель движения эритроцита по капилляру, учитывающая перекатывание, объем и площадь его поверхности. На основе этой модели исследовано движение эритроцита в капилляре, причем, наряду с подвижностью мембраны, формой и положением его в капилляре, учитывается постоянство объема и площади поверхности клетки. На основе проведенного исследования получены численные оценки и аппроксимационные формулы сопротивления, оказываемого эритроцитом при перемещении по сосуду, в зависимости от микрогемодинамических параметров (диаметр сосуда, вязкость плазмы и содержимого эритроцита, модуль Юнга, скорость, объем и площадь поверхности клетки). Предложена модель перемещения совокупности эритроцитов по фрагментам капиллярных сетей. Получены численные оценки кровотока и сопротивления сосудистого русла капиллярной сети. Найдены аппроксимационные выражения разности давлений, за счет которой осуществляется кровоток, от гематокрита, вязкости плазмы, диаметров и длин сосудов, интервалов между поступлениями клеток в капиллярную сеть, скорости, объема, площади поверхности и упругих характеристик эритроцита. Предложена модель регуляции кровотока и транспорта кислорода вазоактивными продуктами метаболизма, учитывающая, в частности, скорость производства продуктов метаболизма в ткани и их физико-химические свойства (коэффициенты диффузии, растворимости и проницаемости), транспорт кислорода (продуктов метаболизма) между тканью и эритроцитами (капиллярами), перемещение эритроцитов по капиллярам, диаметры и длины сосудов (артерий, артериол, капилляров, венул, вен), архитектуру сосудистого русла, гематокрит, транспорт продуктов метаболизма между посткапиллярными венулами и прекапиллярными артериолами, изменение диаметра артериол под воздействием вазоактивных продуктов метаболизма на гладкие мышцы артериол, артерио-венозную разность на концах сосудистого русла и гемодинамику в сосудистом русле. На основе этой модели исследована регуляция кровотока и транспорта кислорода в тканях, причем, наряду с выделением кислорода эритроцитами и поглощением его тканями, учитывается выделение тканями вазоактивных продуктов метаболизма, их транспорт в венозное русло, и далее в прекапиллярные артериолы, где, путем воздействия на мышцы артериол, происходит изменение площади поперечного сечения артериол, что влияет на гемодинамику в сосудистом русле и, следовательно, на транспорт кислорода в тканях. На основе проведенного исследования получены, в частности, численные оценки и аппроксимационные формулы времени перехода системы транспорта кислорода из одного стационарного состояния в другое и скорости кровотока в зависимости от артерио-венозной разности давлений на концах сосудистого ложа и скорости потребления кислорода тканями. Построен алгоритм оценки состояния системы транспорта кислорода (СТК) в организме по сердечному ритму. Получены численные оценки СТК для практически здоровых добровольцев. Введенный индекс состояния СТК может использоваться для оценки общей физической работоспособности (при средних нагрузках) для работников промышленных предприятий и других организаций. Предложен алгоритм экспертной оценки состояния системы транспорта кислорода (СТК) в организме. Этот алгоритм позволяет, в первом приближении, дать экспертную оценку состояния СТК при недостатке информации, что важно, в частности, в том случае, когда имеем дело не со здоровыми добровольцами, а с больными пациентами. Кроме того, этот подход позволяет определить пути коррекции СТК с учетом имеющихся средств.

**Ключевые слова:** моделирование; транспорт кислорода; регуляция кровотока.

**Сведения об авторах:** Александр Васильевич Копыльцов, профессор кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления СПб ГЭТУ «ЛЭТИ».

**Место работы:** Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПб ГЭТУ «ЛЭТИ»).

**Контактная информация:** 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Лизы Чайкиной, д. 18, кв. 8; тел.: +7-921-4019427. E-mail: kopyl2001@mail.ru

## Введение

При описании процессов распространения кислорода в организме человека необходимо рассматривать определенную систему органов и тканей, которая образует систему транспорта кислорода (СТК), включающую системы кровообращения, кроветворения, внешнего и тканевого дыхания. СТК предназначена для доставки кислорода из окружающей среды к клеткам организма, где происходят биохимические реакции окисления. СТК является одной из важнейших систем организма и характеризуется набором внутренних и внешних параметров, причем если внешние параметры заданы, то совокупность значений внутренних параметров характеризует состояние СТК [1–22]. К внешним параметрам СТК

$$\frac{\partial}{\partial t}(C + any + bmz) = -q - \text{div}[V(C + any + bmz) - D \text{grad}(C + any + bmz)], \quad (1)$$

где  $n$  – концентрация гемоглобина,  $y$  – степень насыщения гемоглобина кислородом,  $m$  – концентрация миоглобина,  $z$  – степень насыщения миоглобина кислородом,  $V$  – скорость активного транспорта,  $D$  – коэффициент диффузии,  $q$  – скорость потребления кислорода,  $a$  и  $b$  – коэффициенты. Все величины являются функциями координат и времени, причем некоторые из них в определенных областях имеют нулевые значения, в частности, в ткани значения  $n$  и  $V$  равны нулю, в сосудах значение  $m$  равно нулю. Итак, задача описания СТК состоит в нахождении концентрации  $C(X_1, X_2, X_3, t)$  из уравнения (1). Однако решать это уравнение удобнее не сразу по всему пространству  $(X_1, X_2, X_3, t)$ , а отдельно по специально выделенным областям: воздухопроводная система легких, легочные капилляры, крупные кровеносные сосуды (артерии, артериолы, вены, вены), тканевые капилляры, ткани и клетки различных органов (рис. 1, 2) [12]. Мы ограничиваемся в наших исследованиях рассмотрением СТК в большом круге кровообращения, включающего сердце, артерии, вены, артериолы, вены, капилляры и ткань. При рассмот-

обычно относятся температура, содержание кислорода во вдыхаемой смеси, потребности клеток организма в кислороде и т.д. К внутренним параметрам СТК относится функция распределения кислорода в организме, т.е. концентрация кислорода  $C(X_1, X_2, X_3, t)$ , где  $X_1, X_2, X_3$  – пространственные координаты,  $t$  – время, и величины, непосредственно влияющие на  $C(X_1, X_2, X_3, t)$ . Взаимосвязи между параметрами СТК определяются из законов сохранения и кинетики. Транспорт кислорода в организме осуществляется как пассивно (путем диффузии), так и активно (с помощью движения воздуха в легких, молекул оксигемоглобина в крови и оксимиоглобина в тканях). Поэтому закон сохранения для молекул кислорода можно записать в виде:

рении процессов в ткани анализируется поглощение кислорода тканями и производство продуктов метаболизма, а также распространение кислорода (пассивно и активно) и продуктов метаболизма (пассивно) в ткани.

К тканям кислород поступает по капиллярам, поэтому рассматривается движение эритроцитов (основных переносчиков кислорода по сосудам) по капиллярам, транспорт кислорода из эритроцитов в ткани и продуктов метаболизма из тканей в сосудистое русло. Кровь поступает в капилляры из больших по размеру сосудов (артерий, артериол) и из капилляров перетекает в вены, а затем в вены. Поэтому при моделировании СТК нужно учитывать кровоток по крупным сосудам кровеносной системы. Сердце создает разность давлений, за счет которой осуществляется кровоток в сосудистой системе. Наибольший интерес представляет исследование механизмов регуляции кровотока и транспорта кислорода в организме, а также оценивание состояния СТК организма человека (табл. 1).

**Объекты моделирования**

Рассмотрим объекты моделирования более подробно. На основе теоретических и экспериментальных результатов построена математическая модель, которая позволяет определить величину разности давлений на концах эритроцита, за счет которой он перемещается по капилляру, при условии, что известны такие параметры, как размеры капилляров и эритроцитов, физические свойства эритроцитов и плазмы крови, линейная скорость эритроцитов. Зная величину паде-

ния давления на одиночном эритроците и на столбике плазмы между эритроцитами, можно определить разность давлений на концах капилляра, за счет которой осуществляется движение эритроцитов в потоке плазмы по капилляру. Если разность давлений на концах капилляра известна, то можно решить обратную задачу. А именно, определить характер движения эритроцитов по капилляру в зависимости от вышеперечисленных параметров и величины микрогематокрита.

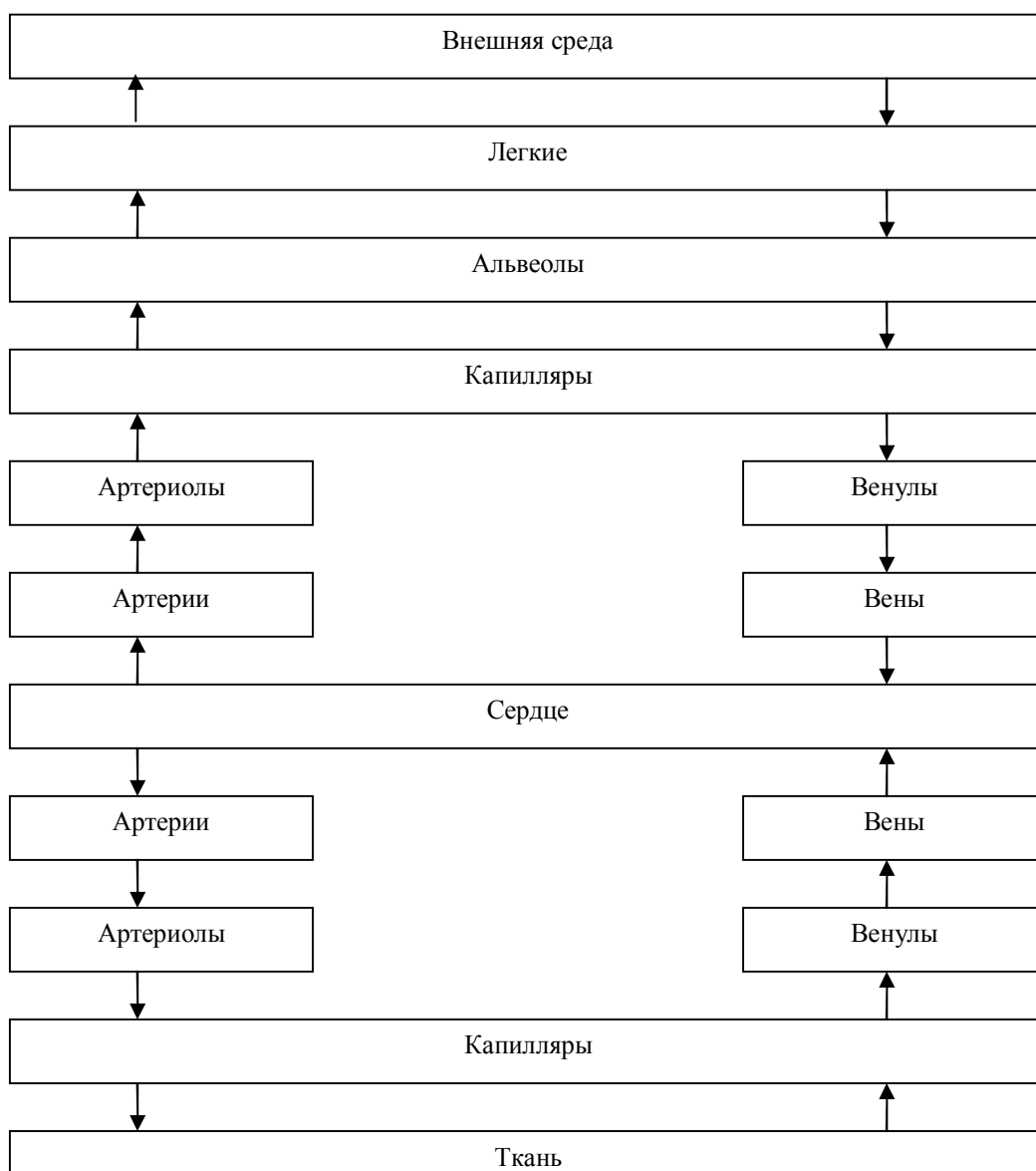


Рис. 1. Система транспорта кислорода в организме



Рис. 2. Транспорт кислорода в организме

Таблица 1

## Физиологические объекты и объекты моделирования

№	Физиологические объекты	Объекты моделирования
1	Ткань	– Поглощение кислорода и производство продуктов метаболизма – Распространение кислорода и продуктов метаболизма
2	Капилляр	– Движение эритроцитов по капилляру – Транспорт кислорода (продуктов метаболизма) между тканью и эритроцитом (капилляром)
3	Капиллярные сети	– Движение эритроцитов по капиллярным сетям
4	Кровеносные сосуды	– Кровоток по артериям, артериолам, капиллярам, венам, венулам – Изменение диаметра артериол
5	Сердце	– Изменение артерио-венозной разности давлений
6	Система транспорта кислорода	– Регуляция кровотока и транспорта кислорода – Состояние системы транспорта кислорода

Далее, на основе знания закономерностей перемещения эритроцитов по капилляру осуществляется переход к моделированию закономерностей движения эритроцитов в капиллярных тройниках (три капилляра, соединенные в одной точке). Проблема выбора направления движения эритроцита при прохождении разветвления решалась с учетом положения, суть которого заключается в том, что при условиях, характерных для системы микроциркуляции, эритроцит направляется в тот капилляр, в котором поток больше. Поскольку капиллярные сети, вообще говоря, допускают разбиение на тройники, то естественным образом осуществляется переход к моделированию закономерностей движения эритроцитов по фрагментам капиллярных сетей коры мозга и мышц животных. Зная закономерности движения эритроцитов в капиллярных сетях и используя существую-

щие экспериментальные и расчетные данные, касающиеся кислородного насыщения эритроцитов при их перемещении по капиллярным сетям [12], можно выявить закономерности снабжения тканей кислородом в норме и патологии. Остановимся на предлагаемых моделях более подробно.

**Движение одиночного эритроцита по капилляру**

Движение одиночного эритроцита по капилляру описывается с позиций гидродинамической теории смазки [4; 5; 7; 8; 9; 10], т.е. величина зазора между мембраной эритроцита и поверхностью капилляра мала, а скорости таковы, что в уравнениях движения жидкости в этом зазоре можно пренебречь инерционными членами. Поскольку эритроцит обладает упругими характеристиками, объемом и площадью поверхности, то эти параметры также учтены

в модели. Численные значения объема эритроцита, площади поверхности эритроцита и диаметра капилляра, полученные в экспериментах, приводят к тому, что эритроцит при перемещении по узкому капилляру принимает несимметричную форму [9]. Асимметрия является причиной поступательно-вращательного перемещения мембраны эритроцита [7; 9], что также учитывается в модели. В итоге получается система дифференциальных уравнений, учи-

тывающая диаметр капилляра, вязкость плазмы, объем, площадь поверхности, модуль Юнга, коэффициент Пуассона и скорость эритроцита. В промежутках между эритроцитами движение плазмы описывается законом Пуазейля, а в зазоре между эритроцитом и стенкой капилляра – системой уравнений Рейнольдса для смазочного слоя, которая в цилиндрической системе координат  $(X_1, r, \varphi)$  имеет вид [7; 9]:

$$\frac{\partial P}{\partial X_1} = \frac{\mu}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \frac{\partial u}{\partial r} \right], \quad (2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial \varphi} = \frac{\mu}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \frac{\partial w}{\partial r} \right], \quad (3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial \varphi} = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial w}{\partial \varphi} + \frac{\partial(ru)}{\partial X_1} + \frac{\partial(rv)}{\partial r} = 0, \quad (5)$$

где  $\mu$  – вязкость плазмы,  $u$  – осевая,  $w$  – азимутальная и  $v$  – радиальная компоненты скорости плазмы,  $P(X_1, \varphi)$  – давление плазмы.

Решая эту систему численными методами (с помощью ЭВМ), определяем

$$\Delta P = \frac{32 \mu U}{D} \left[ \frac{1}{D_\alpha} + \frac{V^2}{S^3} + \frac{\beta E}{\mu f + \gamma} \right], \quad (6)$$

где  $D$  – диаметр капилляра,  $\mu$  – вязкость плазмы,  $U$  – скорость,  $V$  – объем,  $S$  – площадь поверхности,  $E$  – модуль Юнга,  $l$  – длина,  $f$  – частота вращения мембраны эритроцита,  $\alpha$  – отношение скоростей эритроцита и плазмы,  $\beta$  и  $\gamma$  – постоянные. Первый член в правой части выражения дает сопротивление в соответствии с формулой Пуазейля, а второй – дополнительное сопротивление, связанное с эритроцитом.

#### Движение нескольких эритроцитов по сосудам

Последовательность эритроцитов в капилляре представляет собой совокупность эритроцитов, разделенных столбиками плазмы. Согласно экспериментальным

форму и положение эритроцита в капилляре, частоту вращения мембраны эритроцита, распределение давления в окрестности эритроцита и, следовательно, разность давлений ( $\Delta P$ ), за счет которой эритроцит перемещается по капилляру

данным отношение гематокрита в капиллярах к системному гематокриту составляет около 20–25% [12]. Поэтому при движении эритроцитов по капиллярам малого сечения расстояния между эритроцитами достигают нескольких диаметров капилляра. При таких расстояниях между эритроцитами взаимовлияние их друг на друга становится незначительным и им можно пренебречь [12]. Предполагается, что течение плазмы между эритроцитами удовлетворяет закону Пуазейля. Таким образом, сопротивление кровотоку в капилляре складывается из сопротивлений, оказываемых эритроцитами и столбиками плазмы между ними. Если разность давлений на концах капилляра известна, то скорость кровотока в капилляре

зависит от величины микрогематокрита, диаметра капилляра, физических свойств эритроцитов и плазмы крови.

Тройник представляет собой три капилляра, соединенных в одной точке (бифуркации). Закономерности протекания крови через бифуркацию аналогичны закономерностям, отмеченным в отдельных капиллярах, с учетом того, что количество притекающей крови к разветвлению должно быть равно количеству оттекающей крови. Кроме того, в тройнике при разделении потоков на две части возникает проблема выбора для эритроцита: по какому из двух капилляров ему двигаться? Для решения этой задачи использовалось следующее положение [12]: эритроцит движется по тому капилляру, в котором поток больше. Модель перемещения эритроцитов через бифуркации предполагает известными геометрические параметры тройника, значения давлений на концах тройника, физические свойства эритроцитов и плазмы крови. Выходными параметрами модели являются величины скоростей эритроцитов в каждом из капилляров тройника и уровень давления в точке соединения трех капилляров, образующих разветвление. Оказывается, что выходные параметры изменяются с течением времени (колеблются), причем амплитудные и частотные характеристики зависят от величины микрогематокрита, геометрических характеристик тройника и физических свойств эритроцитов и плазмы крови. Аналогичная картина наблюдается в

капиллярных сетях. Характер кровотока в сетях – колебательный, пульсирующий, амплитудные и частотные характеристики которого зависят от физических свойств капиллярной сети, эритроцитов и плазмы крови.

### Локальная регуляция транспорта кислорода

Построена модель регуляции кровотока и транспорта кислорода в ткани [12; 14; 20]. В модели учитывается строение сосудистого русла, включающего артерии, артериолы, капилляры, вены и вены. Кислород, приносимый эритроцитами в капилляры, поступает в окружающие ткани. В ходе биохимических реакций происходит поглощение кислорода и выделение продуктов метаболизма, которые поступают в сосудистое русло (посткапиллярные вены). Из венул часть продуктов метаболизма выносятся в вены, а другая часть путем диффузии переносится в артериолы. Вазоактивные продукты метаболизма воздействуют на мышцы артериол, что приводит к изменению внутренних диаметров артериол, скорости кровотока в сосудистой системе, скорости доставки кислорода к тканям и производства продуктов метаболизма и т.д. Таким образом, имеем замкнутую систему. Транспорт кислорода описывается следующей системой дифференциальных уравнений.

В эритроците:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial t} + V \nabla P &= D_{O_2 E} \nabla^2 P + \frac{\rho(P, SS)}{\alpha_E} \\ \frac{\partial SS}{\partial t} + V \nabla SS &= D_{Hb} \nabla^2 SS + \frac{\rho(P, SS)}{[Hb]_T} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где

$$[Hb]_T = [Hb] + [HbO_2], \quad SS = \frac{[HbO_2]}{[Hb]_T},$$

$$\rho(P, SS) = k^+ [HbO_2] - k^- [Hb] [O_2] = k^+ [Hb]_T SS - k^- [Hb]_T (1 - SS) a_E P.$$

В слое (между эритроцитом и тканью):

$$\frac{\partial P}{\partial t} + V \nabla P = D_{O_2C} \nabla^2 P. \quad (8)$$

В ткани:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial t} &= D_{O_2M} \nabla^2 P + \frac{\sigma(P, SS)}{\alpha_M} - \frac{W}{\alpha_M} \\ \frac{\partial SS}{\partial t} &= D_{Mb} \nabla^2 SS + \frac{\sigma(P, SS)}{[Mb]_T} \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

где

$$[Mb]_T = [Mb] + [MbO_2], \quad SS = \frac{[MbO_2]}{[Mb]_T},$$

$$\sigma(P, S) = k_1^+ [MbO_2] - k_1^- [Mb] [O_2] = k_1^+ [Mb]_T S - k_1^- [Mb]_T (1-S) a_M P.$$

При поглощении кислорода тканями выделяются продукты метаболизма, которые диффундируют в ткани и переносятся с током крови к венозной части сосудистого русла. Таким образом, образование и транспорт продуктов метаболизма в ткани,

слое (интерстициальном пространстве и капиллярном эндотелии) и кровеносных сосудах описывается следующей системой дифференциальных уравнений.

В ткани

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{M_{pM}} \nabla^2 C + \beta W^n + \frac{\gamma \varepsilon}{P + \varepsilon}. \quad (10)$$

В слое (интерстициальном пространстве и эндотелии)

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{M_{pC}} \nabla^2 C. \quad (11)$$

В капилляре

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V \nabla C = D_{M_{pB}} \nabla^2 C, \quad (12)$$

где  $P$  – парциальное давление кислорода,  $W$  – скорость поглощения кислорода тканью,  $V$  – локальный вектор скорости кровотока,  $D_{O_2E}$ ,  $D_{O_2C}$ ,  $D_{O_2M}$  – коэффициенты диффузии кислорода в эритроците, слое (плазме, эндотелии, интерстициальном пространстве) и ткани,  $D_{Hb}$ ,  $D_{Mb}$  – коэффициенты диффузии гемоглобина и миоглобина,  $a_E$ ,  $a_M$  – коэффициенты растворимости кислорода в эритроцитах и ткани,  $[HbO_2]$  – концентрация оксигемоглобина,  $[Hb]$  – концентрация гемоглобина,  $[O_2]$  – концентрация кислорода,  $[MbO_2]$  – концентрация оксимиоглобина,  $[Mb]$  – концентрация мио-

глобина,  $W$  – скорость потребления кислорода тканью,  $k^-$ ,  $k^+$ ,  $k_1^-$ ,  $k_1^+$  – константы скоростей биохимических реакций,  $t$  – время,  $C$  – концентрация продуктов метаболизма,  $D_{M_{pM}}$ ,  $D_{M_{pC}}$ ,  $D_{M_{pB}}$  – коэффициенты диффузии продуктов метаболизма в ткани, слое (интерстициальном пространстве и капиллярном эндотелии) и капилляре,  $\beta, \gamma, \varepsilon, n$  – коэффициенты. Таким образом, уравнения (7)–(12) описывают транспорт кислорода и продуктов метаболизма в эритроците, плазме, капиллярном эндотелии, интерстициальном пространстве и ткани.

### Система транспорта кислорода

Если внешние параметры системы транспорта кислорода (СТК) заданы (скорость потребления кислорода тканями, строение сосудистой сети, вязкость крови и т.д.), то с течением времени СТК выходит на стационарный режим, т.е. внутренние параметры (диаметры артериол, содержание кислорода и продуктов метаболизма в сосудах и т.д.) принимают некоторые численные значения [12]. Итак, задавая внешние параметры, мы определяем соответствующие им внутренние параметры, т.е. состояния СТК. Показано, что важным показателем является время перехода системы транспорта кислорода из одного стационарного состояния в другое. Найдена ана-

литическая зависимость времени переходных процессов в организме от скорости потребления кислорода тканями, объемной скорости кровотока в ткани и артерио-венозной разности давлений на концах сосудистого русла.

В ходе численных экспериментов на ЭВМ было рассчитано время, необходимое для стабилизации процессов при переходе от начальных условий (отсутствие кислорода и продуктов метаболизма в ткани) к стационарным условиям, а также при переходе от легкой физической нагрузки ( $W = 10$  мл/100 г/мин) к интенсивной ( $W = 20$  мл/100 г/мин) и обратно [12]. Были получены аппроксимационные формулы для  $U$  и  $t$  относительно  $\Delta P$  и  $W$

$$t = a \Delta P W - b W - c \Delta P + d, \quad (13)$$

$$U = e \Delta P + f - \frac{g \Delta P + h}{W^2}, \quad (14)$$

где  $a = 0,0016$ ,  $b = 0,248$ ,  $c = 0,037$ ,  
 $d = 6,085$ ,  $e = 0,006$ ,  $f = 0,35$ ,  $g = 0,267$ ,  
 $h = 37,0$ .

Из формул (13) и (14) можно получить соотношения

$$t = U(aW - c) - (bW - d) - \frac{f - \frac{h}{W^2}}{e - \frac{g}{W^2}}, \quad (15)$$

$$t = \left[ \frac{g \Delta P + h}{e \Delta P + f - U} \right]^2 (a \Delta P - d) - c \Delta P + d. \quad (16)$$

Предложены алгоритмы оценивания и коррекции состояния системы транспорта кислорода организма человека [12]. Алгоритм оценивания состояния СТК по сердечному ритму при физической нагрузке основан на сочетании экспериментальных данных и модельных расчетов. Этот подход может быть использован для оценки состояния СТК практически здоровых людей. При оценке состояния СТК больных пациентов лучше использовать оценку состояния СТК, основанную на экспертном методе, ранее развитом для оценки качества и коррекции программных средств [12].

### Заключение

Таким образом, построена система математических моделей, описывающих транспорт кислорода в организме в нормальных условиях и измененных (экстремальных) ситуациях, которая была использована для исследования закономерностей движения эритроцитов (основных переносчиков кислорода) по сосудам, транспорта кислорода из эритроцитов в окружающие ткани и продуктов метаболизма из тканей в сосудистое русло, регуляции кровотока и транспорта кислорода вазоактивными продуктами метаболизма, а также для оценки состояния системы транспорта кислорода в организме.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кисляков Ю.Я., Копыльцов А.В. Формирование газовых пузырей в биологических тканях при декомпрессии (математическое моделирование) // Биофизика. – 1985. – Т. 30. – Вып. 2. – С. 337–340.
2. Kislyakov Yu.Ya., Kopyltsov A.V. Gas bubble formation in biological tissues on decompression (mathematical modeling) // Biofizika. – 1985. – Vol. 30 (2). – P. 337–340.
3. Kislyakov Y.Y., Kopyltsov A.V. The rate of gas bubble growth in tissue under decompression (mathematical modeling) // Respiration Physiology. – 1988. – № 3. – P. 299–308.
4. Копыльцов А.В. Влияние вязкости плазмы на сопротивление движению эритроцитов по капиллярам // Биофизика. – 1989. – Т. 34. – Вып. 6. – С. 1046–1050.
5. Kopyltsov A.V. Effect of plasma viscosity on the resistance of erythrocytes movement along the capillaries // Biofizika. – 1989. – Vol. 34 (6). – P. 1046–1050.
6. Kislyakov Yu.Ya., Kopyltsov A.V. Erythrocyte in the capillary – the mathematical model // Biomechanical transport processes. F.Mosora et al. (eds.). – N.Y., 1990. – P. 217–222.
7. Кисляков Ю.Я., Копыльцов А.В. Математическая модель движения несимметричного эритроцита по капилляру // Биофизика. – 1990. – Т. 35. – Вып. 3. – С. 473–477.
8. Kislyakov Yu., Ya. Kopyltsov A.V. Mathematical model of asymmetric erythrocyte motion in the capillary // Biofizika. – 1990. – Vol. 35 (3). – P. 473–477.
9. Копыльцов А.В. Математическое моделирование движения эритроцита по капилляру: Дис. ... канд. техн. наук. – Рига, 1991. – 149 с.
10. Копыльцов А.В. Математическое моделирование движения эритроцита по капилляру: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Рига, 1991. – 16 с.
11. Копыльцов А.В. Математическое моделирование кровотока через узкие капилляры. В кн.: Биомедицинская информатика и эниология. – СПб., 1995. – С. 60–63.
12. Копыльцов А.В. Математическое моделирование кровотока и транспорта кислорода в нормальных и экстремальных условиях: Дис. ... д-ра техн. наук. – СПб., 1996. – 297 с.
13. Копыльцов А.В. Математическое моделирование кровотока и транспорта кислорода в нормальных и экстремальных условиях: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – СПб., 1996. – 32 с.
14. Kopyltsov A.V., Groebe K. Mathematical modeling of local regulation of blood flow by veno-arterial diffusion of vasoactive metabolites. In: Oxygen transport to Tissue XVIII / Ed. by Nemoto and LaManna. – N.Y., 1997. – P. 303–311.
15. Копыльцов А.В. Математическое моделирование транспорта кислорода в человеческом организме. В кн.: Телемедицина / Под ред. Р.М. Юсупова и Р.И. Полонникова. – СПб., 1998. – С. 323–366.
16. Копыльцов А.В. Математическое моделирование транспорта кислорода в сердечно-сосудистой системе человека // Вестник СПбО РАЕН. – 1999. – № 3(4). – С. 381–387.
17. Копыльцов А.В. Математическое моделирование и система микроциркуляции. – СПб., 2000. – 112 с.
18. Копыльцов А.В. Колебания стенки артериолы. В кн.: Телекоммуникации, математика и информатика – исследования и инновации. Вып. 6. (Межвузовский сб. науч. тр.). – СПб., 2002. – С. 14–20.
19. Копыльцов А.В., Сенкевич Ю.И., Крыленков Л.В., Альжасем Х.И. Моделирование капиллярного кровотока с использованием алгоритма распределенных вычислений // Приложение к журналу «Мехатроника, автоматизация, управление»: Мехатроника и информационные технологии в медицине. – 2008. – № 3. – С. 62–65.
20. Kopyltsov A.V. Mathematical model of the motion of asymmetric erythrocytes along narrow capillaries // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. – 2012. – Т. 26. – № 6. – С. 535–553.
21. Копыльцов А.В. Математическое моделирование локальной регуляции кровотока // Вестник Нижневартского гос. гуманит. ун-та. – 2013. – № 1. – С. 37–42.
22. Копыльцов А.В. Математическая модель колебаний стенки артериолы // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. Научный журнал: Естественные и точные науки. – 2004. – № 4 (8). – С. 22–27.

## REFERENCES

1. Kislyakov, Yu.Ya., Kopyltsov, A.V. Formirovanie gazovykh puzyrej v biologicheskikh tkanyakh pri dekompressii (matematicheskoye modelirovanie) [Gas bubble formation in biological tissues on decompression (mathematical modeling)] // Biofizika. 1985. Vol. 30. Issue. 2. P. 337–340. (In Russian).
2. Kislyakov, Yu.Ya., Kopyltsov, A.V. Gas bubble formation in biological tissues on decompression (mathematical modeling) // Biofizika. 1985. Vol. 30 (2). P. 337–340.

3. Kislyakov Y.Y., Kopyltsov A.V. The rate of gas bubble growth in tissue under decompression (mathematical modeling) // *Respiration Physiology*. 1988. № 3. P. 299–308.
4. Kopyltsov, A.V. Vliyanie vyazkosti plazmy na soprotivlenie dvizheniyu eritrotsitov po kapillyaram [Effect of plasma viscosity on the resistance of erythrocytes movement along the capillaries]// *Biofizika*. 1989. Vol. 34. Issue. 6. P. 1046–1050. (In Russian).
5. Kopyltsov, A.V. Effect of plasma viscosity on the resistance of erythrocytes movement along the capillaries // *Biofizika*. 1989. Vol. 34 (6). P. 1046–1050.
6. Kislyakov, Yu.Ya., Kopyltsov, A.V. Erythrocyte in the capillary – the mathematical model. In: *Biomechanical transport processes*. F.Mosora et al. (eds.). N.Y., 1990. P. 217–222.
7. Kislyakov, Yu.Ya., Kopyltsov, A.V. Matematicheskaya model dvizheniya nesimmetrichnogo eritrotsita po kapillyaru [Mathematical model of asymmetric erythrocyte motion in the capillary]// *Biofizika*. 1990. Vol. 35. Issue. 3. P. 473–477. (In Russian).
8. Kislyakov, Yu.Ya., Kopyltsov, A.V. Mathematical model of asymmetric erythrocyte motion in the capillary // *Biofizika*. 1990. Vol. 35 (3). P. 473–477.
9. Kopyltsov, A.V. Matematicheskoye modelirovanie dvizheniya eritrotsita po kapillyaru: Dis.... kand. tekhn. nauk. [Mathematical modeling of erythrocyte motion in the capillary: Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences]. Riga, 1991. 149 p. (In Russian).
10. Kopyltsov, A.V. Matematicheskoye modelirovanie dvizheniya eritrotsita po kapillyaru: Avtoref. dis.... kand. tekhn. nauk. [Mathematical modeling of erythrocyte motion in the capillary: Author's abstract of Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences]. Riga, 1991. 16 p. (In Russian).
11. Kopyltsov, A.V. Matematicheskoye modelirovanie krovotoka cherez uzkie kapillyary [Mathematical modeling of blood flow in narrow capillary]. In: *Biomeditsinskaya informatika i eniologiya*. Saint Petersburg, 1995. P. 60–63. (In Russian).
12. Kopyltsov, A.V. Matematicheskoye modelirovanie krovotoka i transporta kisloroda v normalnykh i ekstremalnykh usloviyakh: Dis.... d-ra tekhn. nauk [Mathematical modeling of blood flow and oxygen transportation in the normal and extreme conditions: Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences]. Saint Petersburg, 1996. 297 p. (In Russian).
13. Kopyltsov, A.V. Matematicheskoye modelirovanie krovotoka i transporta kisloroda v normalnykh i ekstremalnykh usloviyakh: Avtoref. dis.... d-ra tekhn. nauk [Mathematical modeling of blood flow and oxygen transport in the normal and extreme conditions: Author's abstract of Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences]. Saint Petersburg, 1996. 32 p. (In Russian).
14. Kopyltsov, A.V., Groebe, K. Mathematical modeling of local regulation of blood flow by veno-arterial diffusion of vasoactive metabolites. In: *Oxygen transport to Tissue XVIII* / Ed. by Nemoto and LaManna. N.Y., 1997. P. 303–311.
15. Kopyltsov, A.V. Matematicheskoye modelirovanie transporta kisloroda v chelovecheskom organizme [Mathematical modeling of oxygen transport in the human body]. In: *Telemeditsina* / Ed. by R.M. Yusupov, R.I. Polonnikov. Saint Petersburg, 1998. P. 323–366. (In Russian).
16. Kopyltsov, A.V. Matematicheskoye modelirovanie transporta kisloroda v serdechno-sosudistoy sisteme cheloveka [Mathematical modeling of oxygen transport in the human cardiovascular system]// *Vestnik SPbO RAEN*. 1999. № 3(4). P. 381–387. (In Russian).
17. Kopyltsov, A.V. Matematicheskoye modelirovanie i sistema mikrotsirkulyatsii [Mathematical modeling and microcirculation system.]. Saint Petersburg, 2000. 112 p. (In Russian).
18. Kopyltsov, A.V. Kolebaniya stenki arterioly [Fluctuations in arteriole walls]. In: *Telekommunikatsii, matematika i informatika – issledovaniya i innovatsii*. Vyp. 6 (Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov). Saint Petersburg, 2002. P. 14–20. (In Russian).
19. Kopyltsov, A.V., Senkevich, Yu.I., Krylenkov, L.V., Alzhasem, H.I. Modelirovanie kapillyarnogo krovotoka s ispolzovaniem algoritma raspredelennykh vychisleniy [Modeling of capillary blood flow using an distributed computing algorithm]// *Prilozhenie k zhurnalu "Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie"*: Mekhatronika i informatsionnye tekhnologii v meditsine. 2008. № 3. P. 62–65. (In Russian).
20. Kopyltsov, A.V. Mathematical model of the motion of asymmetric erythrocytes along narrow capillaries // *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling*. 2012. Vol. 26. № 6. P. 535–553.

21. Kopyltsov, A.V. Matematicheskoye modelirovanie lokalnoy regulyatsij krovotoka [Mathematical modeling of local blood flow regulation]// Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo gumanitarnogo universiteta. 2013. № 1. P. 37–42. (In Russian).

22. Kopyltsov, A.V. Matematicheskaya model kolebanij stenki arterioly [Mathematical model of arteriole wall fluctuations]// Izvestija RGPU im. A.I. Gercena. Nauchnyy zhurnal: Estestvennye i tochnye nauki. 2004. № 4 (8). P. 22–27. (In Russian).

*A.V. Kopyltsov*  
*Saint Petersburg, Russia*

### MODELING OF OXYGEN TRANSPORT IN THE HUMAN BODY

**Abstract.** This work offers a three-dimensional model of erythrocyte motion in the capillary with an account for erythrocyte rolling, volume and e surface area. This model was used to study the motion of red blood cells in the capillary, considering membrane mobility, erythrocyte's shape and position in the capillary, as well as stability of the cell's volume and surface area. The study became a basis for numerical estimates and approximation formulas of the resistance exerted by erythrocytes while moving along the vessel, depending on microhemodynamical parameters (blood vessel diameter, plasma viscosity and erythrocyte content, Young's modulus, speed, cell's volume and surface area). We have developed a model of a red blood cell aggregation moving through capillary fragments, obtained numerical estimates of the blood flow and vascular resistance of the capillary network, estimated the approximation expression of pressure difference allowing for the blood flow and depending on the hematocrit, plasma viscosity, vessel diameter and length, intervals between red cells arriving in the capillary network, erythrocyte speed, volume, surface area and elastic characteristics. Another model that we have offered is the model for regulating the blood flow and transporting oxygen by vasoactive metabolic products. In this model, we made allowances for the rate of metabolic products produced in body tissues and their physical and chemical properties (such as diffusion coefficients, solubility and permeability); as oxygen transport (metabolic products) between a tissue and red blood cells (capillaries); red blood cells' motion along the capillaries; blood vessel diameter and length (arteries, arterioles, capillaries, venules, veins); architecture of the vascular net; hematocrit; transport of metabolic products between post-capillary venules and precapillary arterioles; changes in arteriolar diameter when smooth arteriole muscles are affected by vasoactive metabolic products; veno-arterial difference at the ends of the vascular net; hemodynamics in the blood flow. This model allowed us to study the regulation of blood flow and oxygen transport in the tissues, and to consider, along with the oxygen released by red blood cells and absorbed by body tissues, such parameters as vasoactive metabolic products released by body tissues, transport of such metabolic products to the venous net and further on to precapillary arterioles, where they affect arteriolar muscles and lead to changes in the cross-sectional area of arterioles, which, in its turn, affects hemodynamics in the blood flow, and hence the oxygen transport in the body tissues. Based on these studies, we have obtained numerical estimates and approximation formulas of the time required by the oxygen transport system (OTS) to go from one steady state to another, as well as estimated for blood flow velocity depending on the veno-arterial pressure difference at the ends of the vascular net and the rate of oxygen consumption. This paper also describes an algorithm for assessing the state of the OTS in the human body judging from the heart rhythm. We have obtained numerical evaluation for the state of OTS of healthy volunteers and introduced an index of OTS state, which can be used to assess general physical working capacity (with an average load) for industrial and other employees. The paper offers an algorithm for assessing OTS in the body allowing us to evaluate OTS in the case we lack certain data, which is particularly important in the case when we deal with patients rather than with healthy volunteers. In addition, this approach allows us to identify the ways to correct OTS considering the resources available.

**Key words:** modeling; oxygen transportation; blood flow regulation.

**About the author:** Alexander Vasilievich Kopyltsov, Professor at the Department of Automated Information Processing Systems, Saint-Petersburg State Electrotechnical University «LETI».

**Place of employment:** Saint-Petersburg State Electrotechnical University «LETI».

УДК 612.017.2

*И.А. Погоньшева, Д.А. Погоньшев*  
Нижевартовск, Россия

## ФАКТОРЫ РИСКА СНИЖЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ К КИСЛОРОДНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ У СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПРИОБЬЯ

**Аннотация.** Проведена оценка устойчивости организма студентов, проживающих в условиях Среднего Приобья, к гипоксическим состояниям. Для оценки кислородной обеспеченности организма и устойчивости респираторной системы к гипоксемии были проведены функциональные пробы: нагрузка с задержкой дыхания после вдоха (проба Штанге) и после выдоха (проба Генчи). В результате анкетирования были определены дополнительные к климатогеофизическим факторы риска кислородной недостаточности организма, среди них: курение, наличие хронических заболеваний органов дыхания, гиподинамия. Отмечены гендерные различия в функциональной устойчивости респираторной системы к гипоксемии, показатели юношей были значимо выше, чем у девушек. Среднее значение задержки дыхания при выполнении пробы Генчи у юношей –  $39,5 \pm 1,08$  секунд, пробы Штанге –  $51,9 \pm 1,12$  секунд, что значимо выше, чем у девушек, показатели которых  $30,7 \pm 1,67$  и  $43,7 \pm 1,05$  секунд соответственно. Неудовлетворительные показатели нагрузки с задержкой дыхания согласно функциональной пробе Генчи были выявлены у 45% студенток и 26% их ровесников противоположного пола. Неудовлетворительный результат нагрузочной пробы Штанге показали 40,4% девушек и 28,9% юношей. У курящих студентов и обследуемых с недостаточной двигательной активностью была выявлена низкая устойчивость к кислородной недостаточности. Более 45% обследованных молодых людей, дополнительно занимающихся физической культурой, могут перенести состояние гипоксемии без существенных неблагоприятных изменений со стороны респираторной системы.

**Ключевые слова:** кислородная недостаточность; устойчивость к гипоксии; респираторная система.

**Сведения об авторах:** Погоньшева Ирина Александровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии; Погоньшев Денис Александрович, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии.

**Место работы:** Нижевартовский государственный университет.

**Контактная информация:** 628600, г. Нижевартовск, ул. Дзержинского, д. 11, каб. 231; тел.: 3466576830. E-mail: d.pogonyshev@mail.ru.

С первых публикаций, посвященных изучению уровня адаптации населения пришлых популяций на Крайнем Севере и приравненных к нему территориях [5], авторы отмечают формирование своеобразного состояния, характеризующегося появлением признаков хронической кислородной недостаточности неясного генеза [1; 2; 6; 7; 8; 9].

Пребывание человека в условиях Севера сопровождается воздействием комплекса неблагоприятных климатогеофизических факторов, которые увеличивают функциональную нагрузку на организм. В настоящее время известно, что успешная жизнедеятельность человека в экстремальных условиях среды во многом зависит от способности его организма мобилизовать важнейшие гомеостатические механизмы адапта-

ции, а также от резервов этих механизмов во времени [7; 8; 9].

Среди гипокомфортных факторов Севера выделяют следующие группы внешних причин, вызывающих значительное напряжение органов дыхания человека и способствующих появлению дисфункций респираторной системы: реальные факторы с выраженным воздействием (влияние низких температур на верхние дыхательные пути, трахею и бронхи, охлаждение поверхности лица, комбинация низких температур и сильных ветров, а также техногенное загрязнение атмосферного воздуха северных городов); реальные факторы с неясным механизмом действия на дыхательную систему (изменчивость метеоэлементов погоды, экзогенная флюктуирующая гипоксия Севера, геомагнитные возмущения) и гипотетические факторы (униполяр-

ная положительная аэроионизация, возможное снижение окислительного потенциала атмосферного кислорода) [4].

Среди факторов окружающей природной среды, неблагоприятно воздействующих на организм человека, есть те, от которых есть возможность себя защитить (например, холод), и те, обезопасить себя от которых достаточно затруднительно. К последним относятся факторы электромагнитной природы, перепады атмосферного давления, гипоксия высоких широт, измененный фотопериодизм.

Затруднение дыхания на Севере ощущает большинство северян. Несмотря на имеющиеся данные исследований о фактически нормальном содержании кислорода в атмосферном воздухе высоких широт, распространено мнение о нехватке кислорода в воздушной среде Севера. По данным В.И. Хаснулина и др. (2004), парциальное давление кислорода на Земле снижено в высокогорье и не характерно для северных широт. Лишь в Центральной Антарктиде гипоксия связана с расположением полярных станций на высоте 4000 м над уровнем моря. На Севере же таких горных вершин нет, парциальное давление кислорода немного меняется лишь от смены атмосферных фронтов и мало отличается от других регионов планеты. Гипоксия на Севере носит характер метаболический и связана с нарушением активности дыхательных ферментов под действием экстремальных метеорофизических факторов [9].

В высоких широтах происходят адаптивные сдвиги, направленные на приспособление к кислородной недостаточности. По данным Б.Т. Величковского (2013), основная причина снижения содержания кислорода в артериальной крови – гипоксемии – в условиях Севера заключается в нарушении диффузии газов (кислорода и углекислого газа) через альвеолярно-капиллярную мембрану легких. На снижение гипоксемии направлены практически все компенсаторные механизмы респираторной системы [3].

Целью исследования явилась оценка устойчивости организма студентов, проживающих в условиях Севера, к гипоксическим состояниям. В исследовании принимали участие студенты Нижневартковского государственного университета (НВГУ) в количестве 80 человек. Возраст обследуемых находился в пределах от 18 до 21 года.

В результате анкетирования студентов были выявлены дополнительные к климатогеофизическим факторы риска кислородной недостаточности, среди них: курение, наличие хронических заболеваний органов дыхания, диагностированных врачом, гиподинамия. Анализ анкетных данных обследуемых студентов представлен на рисунке 1. Среди обследуемых студентов 40,4% девушек и 47,3% юношей курят, 23,8% студенток и 5,26% их сверстников на момент исследования уже имели хронические заболевания органов дыхания, 64,3% девушек и 52,7% молодых людей находились в состоянии гиподинамии.

Для оценки кислородной обеспеченности организма и устойчивости респираторной системы студентов к гипоксическим состояниям были проведены функциональные пробы: нагрузка с задержкой дыхания после вдоха (проба Штанге) и после выдоха (проба Генчи).

В результате проведенного функционального тестирования по пробе Генчи была определена устойчивость к гипоксемии у обследуемых молодых людей (рис. 2). Результат считался хорошим, если исследуемый смог задержать дыхание на время более 40 секунд; удовлетворительным – до 35–39 секунд; неудовлетворительным – менее 30 секунд.

Выявлены гендерные различия в функциональной устойчивости респираторной системы. Среднее значение показателей пробы Генчи у юношей –  $39,5 \pm 1,08$  с, что значительно выше, чем у девушек ( $30,7 \pm 1,67$  с).

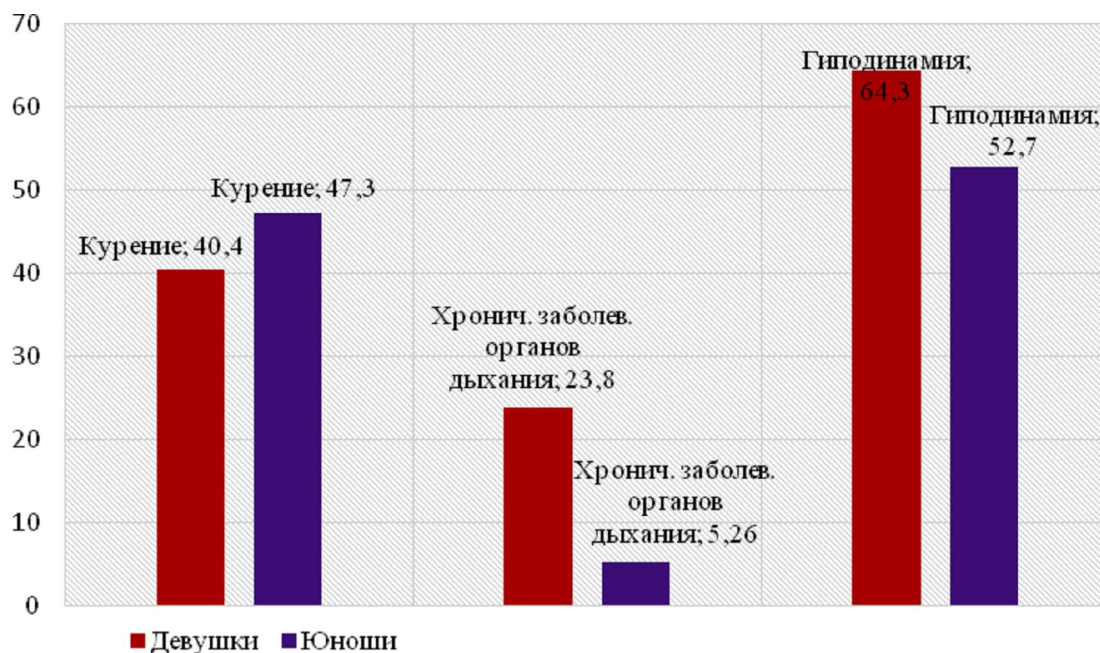


Рис. 1. Характеристика студентов в зависимости от выявленных факторов риска дисфункций системы органов дыхания, (%)

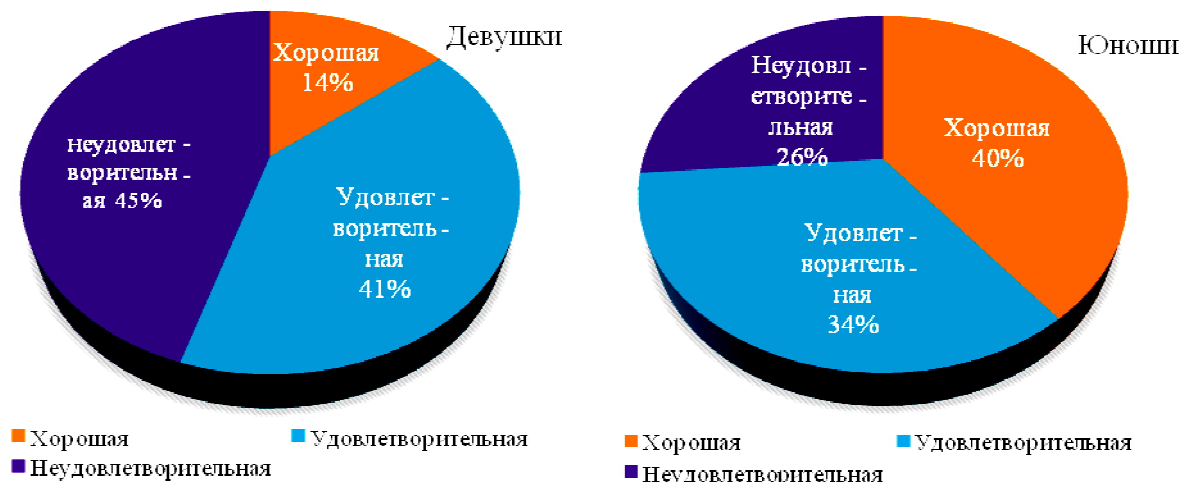


Рис. 2. Устойчивость к кислородной недостаточности у студентов (проба Генчи), %

У 14,2% девушек и 39,4% юношей отмечались хорошие показатели задержки дыхания. Удовлетворительный результат показали 40,6% студенток и 34,3% их сверстников противоположного пола. Неудовлетворительные показатели нагрузки по пробе Генчи были выявлены у 45,2% девушек и 26,3% юношей. Результаты функциональной пробы с задержкой дыхания

после выдоха свидетельствуют, что мужской организм более устойчив к факторам риска дисфункций респираторной системы, и кислородная недостаточность вызовет в нем менее значимые неблагоприятные функциональные изменения.

Результаты, показывающие влияние дополнительных факторов на устойчивость к гипоксии, отражены в таблице 1.

Таблица 1

## Влияние факторов на устойчивость к гипоксии (проба Генчи), %

Оцениваемый фактор	Хорошая	Удовлетворительная	Неудовлетворительная
Курение	28,5	28,7	42,8
Дополнительная физическая нагрузка	45,4	39,5	15,1
Заболевания органов дыхания	25	33,4	41,6

У курящих студентов хороший результат пробы Генчи отмечался в 28,5% случаев, удовлетворительный – у 28,7%, неудовлетворительный – у 42,8% обследуемых.

Среди молодых людей, регулярно занимающихся физкультурой, хороший результат показали 45,4% обследуемых, удовлетворительный и неудовлетворительный – 39,5 и 15,1% соответственно. У 25% обследуемых, имеющих хронические заболевания органов дыхания, отмечались хорошие показатели, неудовлетворительные – у 41,6% студентов, удовлетворительные – в 33,4% случаев. Полученные результаты подтверждают неблагоприятное влияние гиподинамии, курения, дисфункций дыха-

тельной системы на устойчивость организма к гипоксемии.

Вторым этапом экспериментального исследования была функциональная диагностика устойчивости респираторной системы к гипоксемии с помощью пробы Штанге. Результат считался хорошим, если исследуемый смог задержать дыхание на время более 50 секунд; удовлетворительным – в диапазоне 40–49 секунд; неудовлетворительным – менее 39 секунд. Результаты пробы Штанге представлены на рисунке 3.

Среднее значение показателей пробы Штанге у юношей –  $51,9 \pm 1,12$  с, что значительно выше, чем у девушек ( $43,7 \pm 1,05$  с).

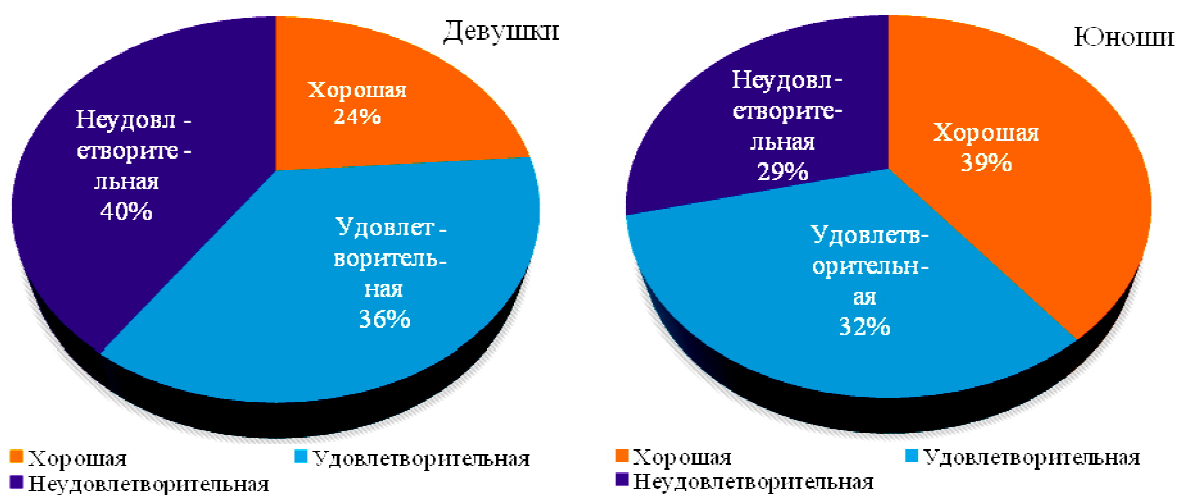


Рис. 3. Устойчивость к кислородной недостаточности у студентов (проба Штанге), %

У 23,8% девушек и 39,4% юношей отмечались хорошие показатели согласно пробе Штанге. Удовлетворительный результат показали 35,8% студенток и 31,7% их сверстников противоположного пола. Неудовлетворительные показатели нагруз-

ки с задержкой дыхания на вдохе были выявлены у 40,4% девушек и 28,9% юношей.

Результаты, показывающие влияние выявленных факторов на устойчивость к гипоксии (проба Штанге), отражены в таблице 2.

У курящих студентов была выявлена низкая устойчивость к кислородной недостаточности. Хороший результат функцио-

нальной пробы Штанге имели лишь 34,2%, неудовлетворительный – 42,9% обследуемых.

Таблица 2

**Влияние факторов на устойчивость к гипоксии (проба Штанге), %**

Оцениваемый фактор	Хорошая	Удовлетворительная	Неудовлетворительная
Курение	34,2	22,9	42,9
Дополнительная физическая нагрузка	45,5	48,4	6,1
Заболевания органов дыхания	16,6	41,8	41,6

Среди молодых людей, имеющих заболевания органов дыхания, хорошие параметры нагрузочной пробы были выявлены у 16,6%, неудовлетворительные показали 41,6% обследуемых. У студентов с достаточной физической активностью нормальный результат отмечался у 45,5%, неудовлетворительный – в 6,1% случаев.

Приверженность к здоровому образу жизнедеятельности повышает качество жизни и нормализует функциональные показатели организма студентов. Более 45% обследованных молодых людей, дополнительно занимающихся физкультурой, могут перенести состояние кислородной недостаточности без существенных неблагоприятных изменений со стороны респираторной системы. Даже у студентов с хроническими заболеваниями органов дыхания, но не подверженных гиподинамии, устойчивость к гипоксии была сформирована лучше, чем у их сверстников, имеющих недостаток двигательной активности.

Таким образом, среди обследованных студентов НВГУ менее половины имеют

нормальную устойчивость к гипоксемии. Представители значительной группы обследуемых в экстремальных условиях, при кислородной недостаточности не смогут быстро адаптироваться и будут испытывать дисфункции различной степени тяжести.

Студентам, имеющим неудовлетворительные показатели устойчивости респираторной системы к гипоксическим состояниям, можно порекомендовать: увеличение двигательной активности (в результате физических упражнений в организме вырабатывается больше гормона эритропоэтина, который регулирует эритропоэз); профилактическое применение адаптогенов, антиоксидантов и антигипоксантов, повышающих устойчивость организма к гипоксическим условиям; оксигенотерапию (кислородные коктейли); рациональное, полноценное питание как профилактику анемии; исключение вредных привычек (алкоголь, курение, длительное времяпровождение за компьютером).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Марачев А.Г., Милованов А.П. Патология человека на Севере. – М., 1985.
2. Бобров Н.И., Ломов О.П., Тихомиров В.П. Физиолого-гигиенические основы акклиматизации человека на Крайнем Севере. – Л., 1979.
3. Величковский Б.Т. Причины и механизмы низкого коэффициента использования кислорода в легких человека на Крайнем Севере [Электронный ресурс] // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2013. – № 2–2 (90). – С. 97–101. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/> (дата обращения: 05.06.2015).
4. Гудков А.Б., Попова О.Н. Внешнее дыхание человека на Европейском Севере: Моногр. Изд. 2-е, испр. и доп. – Архангельск, 2012.
5. Данишевский Г.М. Акклиматизация человека на Севере (С очерком краевой патологии и гигиены). – М., 1955.

6. Марачев А.Г. Циркумпольярный гипоксический синдром и его диагностические критерии // Региональные особенности здоровья жителей Заполярья. – Новосибирск, 1983. – С. 98–102.
7. Соловьев В.С., Погоньшева И.А., Овечкина Е.С., Погоньшев Д.А. Экология человека: Моногр. – Ханты-Мансийск, 2008.
8. Соловьев В.С., Погоньшева И.А., Погоньшев Д.А., Соловьева С.В. Адаптация человека в условиях Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: Моногр. – Ханты-Мансийск, 2010.
9. Хаснулин В.И., Вильгельм В.Д., Воевода М.И., Зырянов Б.Н., Селятицкая В.Г. Медико-экологические основы формирования, лечения и профилактики заболеваний у коренного населения ХМАО: Методическое пособие. – Новосибирск, 2004.

#### REFERENCES

1. Avtsyn, A.P., Zhavoronkov, A.A., Marachev, A.G., Milovanov, A.P. Patologiya cheloveka na Severe [Pathology of people living in the North]. Moscow, 1985. (In Russian).
2. Bobrov, N.I., Lomov, O.P., Tikhomirov, V.P. Fiziologo-gigienicheskiye osnovy akklimatizatsii v legkikh cheloveka na Krajnem Severe [Physiological and hygienic basics of human acclimatization in the Far North: Electronic resource]. Leningrad, 1979. (In Russian).
3. Velichkovsky, B.T. Prichiny i mekhanizmy nizkogo koeffitsienta ispolzovaniya kisloroda v legkikh cheloveka na Krajnem Severe [The causes and mechanisms of low oxygen level in the lungs of people living in the Far North: Electronic resource] // Bulletin VSNTs SO RAMN. 2013. № 2–2 (90). P. 97–101. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/> (Accessed on June 05, 2015). (In Russian).
4. Gudkov, A.B., Popov, O.N. Venshneye dykhanie cheloveka na Evropejskom Severe: monographiya [External breathing of people living in the European North: A monographic study]. 2<sup>nd</sup> ed., rev. and add. Arkhangelsk, 2012. (In Russian).
5. Danishevsky, G.M. Akklimatizatsiya cheloveka na Severe (A ocherkom kraevoy patologii i gigieny [Acclimatization of people to the North (With an essay on regional pathology and of hygiene practices)]. Moscow, 1955. (In Russian).
6. Marachev, A.G. Tsimkumpolyarny gipoksichesky sindrom i ego diagnosticheskiye kriterii [Circumpolar hypoxic syndrome and its diagnostic criteria]// Regionalnye osobennosti zhiteley Zapolyariya. Novosibirsk, 1983. P. 98–102. (In Russian).
7. Solovyov, V.S., Pogonysheva, I.A., Ovechkin, E.S., Pogonyshev, D.A. Ekologiya cheloveka: Monogr. [Human Ecology: A monographic study]. Khanty-Mansiysk, 2008. (In Russian).
8. Solovyov, V.S., Pogonysheva, I.A., Pogonyshev, D.A., Solovieva, S.V. Adaptatsiya cheloveka b usloviyakh Khanty-Mansijskogo avtonomngo okruga – Yugry: Monogr. [Adaptation of humans in Khanty-Mansiysk Autonomous District - Yugra: A monographic study]. Khanty-Mansiysk, 2010. (In Russian).
9. Khasnulin, V.I., Wilgelm, V.D., Voevoda, M.I., Zyryanov, B.N., Selyatitskaya, V.G. Mediko-ekologicheskiye osnovy formirovaniya, lecheniya i provilaktiki zabolevaniy u korenного naseleniya KHMAO: Metodicheskoye posobyе [Medical and environmental bases for the development, treatment and prevention of diseases among indigenous people of Khanty-Mansiysk Autonomous District - Yugra: A textbook of methodics]. Novosibirsk, 2004. (In Russian).

*I.A. Pogonysheva, D.A. Pogonyshev  
Nizhnevartovsk, Russia*

#### RISK FACTORS OF LOW RESISTANCE TO HYPOXIA AMONG STUDENTS LIVING IN THE MIDDLE OB REGION

**Abstract.** This work evaluates human body resistance towards hypotoxic conditions of the Middle Ob region. The authors tested a group of university students to evaluate oxygen supply of the body and respiratory system resistance to hypoxia and took timed inspiratory (Stange's test) and expiratory (Genchy's test) capacity tests. The students were also asked to fill in special questionnaires to identify additional climatic risk factors of oxygen deficiency, such as smoking, chronic respiratory diseases, lack of exercise. The tests revealed gender differences in respiratory resistance to hypoxemia: values for male students were significantly higher than those for female ones. Male students' average breath holding capacity values were the following: 39.5 ± 1.08 seconds at Genchy's test, 51.9 ± 1.12 seconds at Stange's test. At the same time, female students' breath holding capacity was 30.7 ± 1.67 seconds at Genchy's test and 43.7 ± 1.05 seconds at Stange's test. Thus, values of male students are significantly higher than those of female ones. 45% female students and 26% male students had poor breath expiratory capacity, and 40.4% of girls and 28.9% of young men had poor results on Stange's inspiratory capacity test. Smoking students

and students lacking physical exercise showed low resistance to oxygen deficiency. More than 45% of the tested students engaged in additional physical exercise showed the ability to resist hypoxia without significant adverse changes in the respiratory system.

**Key words:** hypoxia; resistance to hypoxia; respiratory system.

**About the authors:** Irina Alexandrovna Pogonysheva, Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor at the Department of Ecology; Denis Alexandrovich Pogonyshv, Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor at the Department of Ecology.

**Place of employment:** Nizhnevartovsk State University.

---

---

УДК 504.064.2.001.18

*И.Ю. Усманов  
Е.С. Овечкина  
Р.И. Шаяхметова  
Нижневартовск, Россия*

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕФТЯНОГО ШЛАМА

**Аннотация.** На территории Самотлорского месторождения в настоящее время располагаются объекты, которые являются источниками распространения ряда загрязняющих веществ, из которых наиболее часто встречаются продукты нефтедобычи. Рекультивация нефтяных загрязнений и оборудование шламовых амбаров не способствуют полной их изоляции. Включение в процесс роста и развития растений загрязняющих веществ происходит через атмосферные переносы и почву.

Как показывает анализ региональных исследований, проблема изменения биогеоценозов под влиянием техногенной нагрузки волнует многих ученых. В статье представлены сведения по содержанию загрязняющих веществ в почве вблизи нефтешламового амбара на Самотлорском месторождении. Установлено, что нефтешламы, сконцентрированные в амбарах, оказывают разноплановое воздействие на окружающую среду.

Механический состав почвы определяет возможности аккумуляции нефтепродуктов и изменение ее химического состава.

Целью работы было определение загрязняющих веществ в почве и растениях, расстояния переноса.

В ходе работ были проведены исследования участка с нефтешламовым амбаром, описаны растительные сообщества и сделан химический анализ почвы и растений.

Результатом стало выявление накопления нефтепродуктов в суглинистых почвах и отсутствия следов нефтепродуктов в песчаных почвах и растениях. Косвенным признаком отрицательного влияния нефтешламового амбара стало изменение растительного покрова и состояния растений.

Согласно полученным данным, на территории, прилегающей к шламовому амбару, осадение и задержка загрязняющих веществ большей частью происходит в суглинистых и глинистых почвах. Растения, произрастающие на песке, не имеют выраженных изменений.

**Ключевые слова:** нефтешлам; месторождение; загрязняющие вещества; растительность; развитие растений.

**Сведения об авторах:** <sup>1</sup>Усманов Искандер Юсуфович, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии, <sup>2</sup>Овечкина Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, <sup>3</sup>Шаяхметова Раиса Иршатовна, техник научно-исследовательской лаборатории.

**Место работы:** Нижневартовский государственный университет.

**Контактная информация:** <sup>1</sup>628605, г. Нижневартовск, ул. Дзержинского, д. 11, каб. 317, тел. (3466)451820; <sup>2</sup>628605, г. Нижневартовск, ул. Ленина, д. 56, каб. 219; <sup>3</sup>628605, г. Нижневартовск, ул. Дзержинского, д. 11, каб. 202. E-mail: <sup>1</sup>iskander.usmanov@mail.ru, <sup>2</sup>pinus64@mail.ru, <sup>3</sup>19raj83@rambler.ru.

---

Самотлорское нефтяное месторождение (Самотлор) – крупнейшее в России и одно из крупнейших в мире месторождений нефти. Расположено в Ханты-Мансийском автономном округе, вблизи Нижневартовска, в районе озера Самотлор.

Географически район месторождения приурочен к водоразделу рек Вах (являющейся судоходной) и Ватинский Еган – правых притоков Оби. Рельеф слабопересеченный, с абсолютными отметками от плюс 45 до плюс 75 метров. Площадь месторождения сильно заболочена, отмечаются также многочисленные озера, наиболее крупными из которых являются: Самотлор (его площадь 62 км<sup>2</sup>), Кымыл-Эмтор, Белое, Окунево, Калач, Проточное, Мысовое, Урманное и др. [12].

Растительность представлена смешанными лесами с преобладанием хвойных пород и ивняками, произрастающими преимущественно по берегам рек и озер.

Климат территории континентальный, с коротким прохладным летом и продолжительной холодной зимой. Средне-многолетняя годовая температура воздуха составляет –30С. Наиболее холодным месяцем года является февраль (–230С), самым теплым – июль (+180С) [14. С. 107].

На сегодняшний день в многочисленных работах описаны основные закономерности формирования химического состава вод и почв Нижневартовского района и в частности рассматривается территория Самотлорского месторождения. Техногенное влияние на изменение минерального и органического состава поверхностных вод подробно описано в работе А.Г. Бабушкина (2007).

В процессе исследовательских работ, выполненных и в ХМАО – Югре и за его пределами, было установлено, что загрязнение почвы нефтью и нефтепродукта-

ми приводит к изменению скорости роста и развития растений [2–11; 13].

Колесников С.И. (2007), рассматривая фактор воздействия нефтепродуктов на растения и изучая действие высоких концентраций, отмечает замедление развития растений или их гибель в результате нарушений поступления воды, питательных веществ и кислородного голодания. Согласно его данным, негативное влияние нефти на рост и развитие растений проявляется уже при внесении ее в дозе выше 50 мг/кг.

Другие исследователи отмечают стимулирующее действие нефти на рост растений. В работах этих авторов указывается, что в почвах с повышенным содержанием органического вещества низкие дозы загрязнения (1 г/кг) усиливают рост и развитие тест-культур. Влияние нефтезагрязнения проявляется с дозы 15–30 г/кг. В почвах с низкими агрохимическими показателями внесение загрязнителя сказывается на развитии тест-культур при самых низких дозах [8. С. 134; 7. С. 17–23; 9. С. 360].

В основе стимулирующего действия углеводов нефти лежат несколько факторов, из которых сложно выделить основные. Среди них: действие на растения ростовых веществ, имеющихся в нефти; внесение в почву дополнительного органического вещества и минеральных элементов, улучшающих питание растений, а также увеличение площади питания выживших растений и уменьшение конкуренции вследствие прореживания травостоя [15. С. 75].

Целью данной работы является определение аккумуляции нефтепродуктов и изменения состава почвы вокруг шламового амбара. В процессе исследования были взяты пробы почвы и собран растительный материал, проведен их химический анализ.

Сбор материала проводился на территории Самотлорского месторождения в летний период 2014 г. Отбор проб почвы осуществлялся около нефтешламового амбара в 4 точках. Общее количество взятых проб – 48. Для анализа растительного материала был выбран вейник Лангсдорфа, т.к. он представлен на всей территории и находился в стадии активной вегетации. Для математической обработки использовали расчеты по средним показателям, среднему отклонению по точкам сбора и в общем по всей территории, а также определение корреляции между химическими веществами.

На участке, где размещается нефтешламовый амбар, была проведена отсыпка территории. В северной и северо-восточной

части исследуемой площади – небольшое понижение, почва суглинистая, влажная, а в других точках отбора почва песчаная.

На расстоянии 10–20 м от амбара уже наблюдается активное зарастание травяными видами растений: *Calamagrostis langsdorffii*, *Equisetum pratense*, *Epilobium palustre*, *Chenopodium album*, *Chamaenerion angustifolium*, *Hieracium umbellatum* и др. Общее количество видов высших травяных растений – 21. На небольшом расстоянии от амбара (до 50 м) узкой полосой размещается злаково-хвощовое сообщество с проективным покрытием от 20 до 45%.

Смена видового состава высших сосудистых растений по мере удаления от амбара приведена в таблице 1.

Таблица 1

Смена видов растений по мере удаления от амбара

№ п/п	Виды растений	10–20 м от амбара	20–50 м от амбара	100 м от амбара
1	<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	+	+	+
2	<i>Equisetum pratense</i>	+	+	+
3	<i>Epilobium palustre</i>	+		
4	<i>Chenopodium album</i>	+		
5	<i>Chamaenerion angustifolium</i>	+	+	+
6	<i>Hieracium umbellatum</i>	+	+	
7	<i>Rorippa amphibia</i>	+		
8	<i>Bromopsis inermis</i>	+	+	
9	<i>Crepis capillaris</i>	+	+	
10	<i>Plantago major</i>	+	+	
11	<i>Polygonum aviculare</i>	+		
12	<i>Phleum pratense</i>	+		
13	<i>Agrostis clavata</i>	+	+	
14	<i>Carex acuta</i>	+	+	+
15	<i>Alopecurus pratensis</i>	+		
16	<i>Rumex acetosella</i>	+		
17	<i>Artemisia vulgaris</i>	+	+	
18	<i>Trifolium repens</i>	+	+	
19	<i>Ranunculus acris</i>	+	+	
20	<i>Tussilago farfara</i>	+	+	
21	<i>Taraxacum officinale</i>	+		
22	<i>Ptarmica cartilaginea</i>		+	+
23	<i>Urtica dioica</i>		+	
24	<i>Juncus bufonius</i>		+	
25	<i>Trifolium pratense</i>		+	+
26	<i>Phalaroides arundinacea</i>		+	+
27	<i>Eriophorum vaginatum</i>		+	+
28	<i>Stellaria graminea</i>		+	

Таблица 1. Продолжение

№ п/п	Виды растений	10–20 м от амбара	20–50 м от амбара	100 м от амбара
29	<i>Matricaria recutita</i>		+	
30	<i>Persicaria amphibia</i>		+	
31	<i>Melilotus albus</i>		+	
32	<i>Dactylis glomerata</i>		+	
33	<i>Vicia cracca</i>		+	+
34	<i>Leucanthemum vulgare</i>		+	+
35	<i>Potentilla anserina</i>		+	
36	<i>Veronica longifolia</i>		+	+
37	<i>Ledum palustre</i>			+
38	<i>Chamaedaphne calyculata</i>			+
39	<i>Rubus chamaemorus</i>			+
40	<i>Vaccinium myrtillus</i>			+
41	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>			+
42	<i>Andromeda polifolia</i>			+
43	<i>Oxycoccus palustris</i>			+
44	<i>Vaccinium uliginosum</i>			+
45	<i>Eriophorum vaginatum</i>			+
46	<i>Carex cespitosa</i>			+
47	<i>Salix caprea</i>			+
48	<i>Salix viminalis</i>		+	+
49	<i>Rosa acicularis</i>			+
50	<i>Sorbus sibirica</i>			+
51	<i>Betula pubescens</i>			+
52	<i>Populus tremula</i>			+
53	<i>Pinus sylvestris</i>			+
54	<i>Pinus sibirica</i>			+

Вдоль дороги площадку окружает восстанавливающийся кустарничково-сфагновый сосняк. Поверхность исследуемого участка ровная, микрорельеф слабо выражен, образование моховых кочек наблюдается только в приствольных частях деревьев. Сомкнутость древесного яруса – 0,4.

В первом ярусе доминирует *Betula pubescens*, среднее количество экземпляров составляет 600 ед. на 1 га. Высота яруса – 16–18 м, средний диаметр деревьев – 22,75 см (минимально – 16 см, максимально – 36 см). Сомкнутость яруса – 0,4.

Сомкнутость второго яруса – 0,1–0,2, высота – 10–12 м. В составе яруса присутствуют *Pinus sylvestris* и *Betula pubescens* в равном соотношении – по 125 экз. на 1 га. Средний диаметр стволов: *Pinus sylvestris* – 3,6 см (минимально – 6 см, мак-

симально – 10 см), *Betula pubescens* – 8,5 см (минимально – 5 см, максимально – 12 см).

Подрост высотой 0,5–3 м располагается относительно равномерно, в составе преобладает *Betula pubescens* (1175 экз. на 1 га), также представлены *Pinus sibirica* (750 экз. на 1 га) и *Pinus sylvestris* (475 экз. на 1 га). Общее количество подроста составляет 2400 экз. на га.

Кустарниковый ярус в сообществе не выражен, встречаются отдельные экземпляры *Salix caprea* и *Rosa acicularis*.

В травяно-кустарничковом ярусе доминируют кустарнички: *Ledum palustre* (31%), *Chamaedaphne calyculata* (16%), *Rubus chamaemorus* (6%), *Vaccinium myrtillus* (3%), *Vaccinium vitis-idaea* (1%), *Andromeda polifolia* (1%), единично встречаются *Oxycoccus palustris*, *Vaccinium*

*uliginosum*. Из травяных видов встречаются *Chamerion angustifolium* (3%), единично – *Eriophorum vaginatum*, *Carex cespitosa*. Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составило 63%. Характерным является неравномерное распределение видов и особей растений по площади сообщества.

Прикопки почвы были выполнены на глубину до 60 см. Состав почвы однородный по всей глубине, для анализа был взят поверхностный слой почвы – до 10 см. В северной и восточной части участка почва суглинистая, а на юге и западе – песчаная.

При проведении химического анализа почвы по всем точкам было установлено, что превышение содержания в почве нефтепродуктов наблюдалось в двух точках отбора: на севере и на востоке. На северной точке содержание было максимальным, более чем в 2 раза выше, чем на восточной точке. Как отмечалось ранее, почва здесь суглинистая, в отличие от песчаной на юге и западе участка (Таблица 2). Вероятнее всего именно особенность механического состава почвы способствует удержанию нефтепродуктов и других исследуемых компонентов.

Таблица 2

Механический состав почвы

Направление от амбара	Расстояние от амбара (м)	Тип почвы
север	20–50	суглинистая
запад	10–50	песчаная
восток	20–50	суглинистая
юг	10–50	песчаная

Более подробно средние показатели содержания химических веществ в почве представлены в таблице 3.

Таблица 3

Данные по содержанию веществ в почве (в среднем по точкам отбора)

Точки отбора проб	Хлориды в почве (ГОСТ 26425-85 ммоль/в 100 г почвы)	Подвижные соединения общего железа в почве (ГОСТ 27395-87 г/кг)	Обменный аммоний в почве (ГОСТ 26489-85 мг/кг)	Органическое вещество (ГОСТ 26213-91 %)	Обменный марганец (ГОСТ 26486-85 мг/кг)	Нефтепродукты ПНД Ф (16.1:2.2.22-98 мг/кг)
север	0	33,82±3,46	1,74±0,21	4,53±0,54	106,93±11,3	564,38±54,78
запад	0,45±0,054	15,81±1,165	1,21±0,11	0,21±0,032	3,17±0,38	77,94±8,78
восток	0,10±0,001	33,24±3,112	0,88±0,07	0,56±0,045	0,87±0,088	268,35±24,65
юг	0,10±0,001	15,47±1,64	1,27±0,23	0,32±0,045	3,87±0,41	12,98±1,45
среднее по территории						
Среднее	0,16±0,01	24,59±0,28	1,28±0,09	1,41±0,023	28,71±1,89	230,91±2,45

При расчетах корреляции содержания веществ в почве было определено, что наибольшая зависимость наблюдалась по содержанию органических веществ и мар-

ганца – 0,995771, а также органического вещества и нефтепродуктов – 0,922673. Наименьшие значения корреляции были получены между подвижными соединени-

ями общего железа и аммония, а обратная зависимость выявлена от содержания хло-

ридов в почве. Показатели значений корреляции представлены в таблице 4.

Таблица 4

Показатели корреляции химических веществ

	Хлориды	Подвижные соединения общего железа	Обменный аммоний	Органическое вещество	Обменный марганец	Нефтепродукты
Хлориды	–	-0,65293	-0,65293	-0,59091	-0,54265	-0,59331
Подвижные соединения общего железа	-0,65293	–	0,135824	0,647577	0,576374	0,878194
Обменный аммоний	-0,65293	0,135824	–	0,842508	0,886651	0,575656
Органическое вещество	-0,59091	0,647577	0,842508	–	0,995771	0,922673
Обменный марганец	-0,54265	0,576374	0,886651	0,995771	–	0,88786
Нефтепродукты	-0,59331	0,878194	0,575656	0,922673	0,88786	–

Подобная закономерность подробно описана в «Гидрохимическом мониторинге поверхностных вод Ханты-Мансийского автономного округа – Югры» А.Г. Бабушкина (2007). При нефтяном загрязнении вод происходит перенос на расстояние до не-

скольких десятков метров. Активность переноса и расстояние зависят от объема и площади нефтяного загрязнения.

Пространственное распределение исследуемых веществ в почве показано на рисунках 1–6.

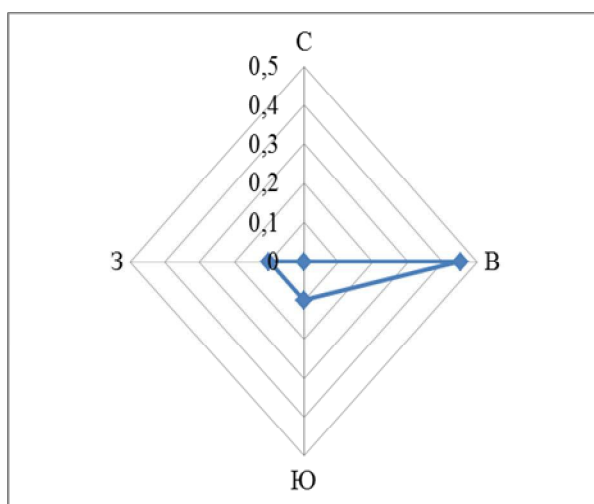


Рис. 1. Распределение в почве хлоридов по точкам отбора (ммоль/в 100 г)

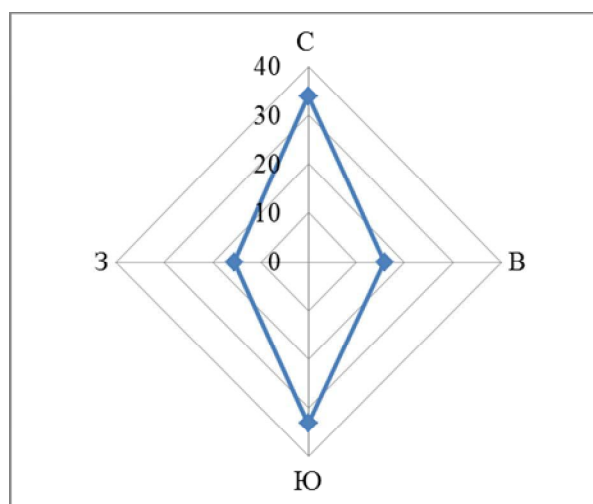


Рис. 2. Распределение подвижных соединений общего железа в почве по точкам отбора (г/кг)

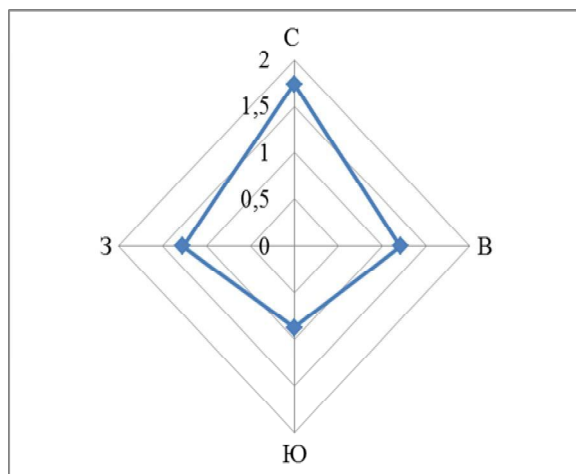


Рис. 3. Распределение в почве обменного аммония (мг/кг)

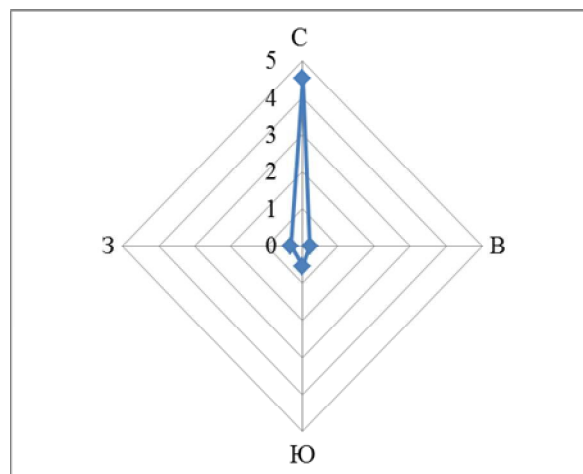


Рис. 4. Распределение в почве органического вещества (%)

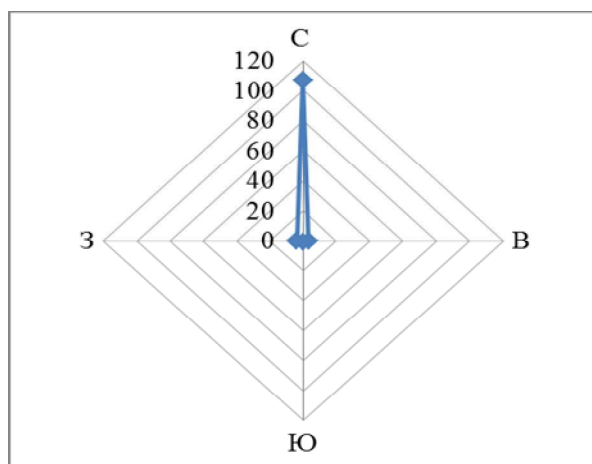


Рис. 5. Распределение в почве обменного марганца по точкам отбора (мг/кг)

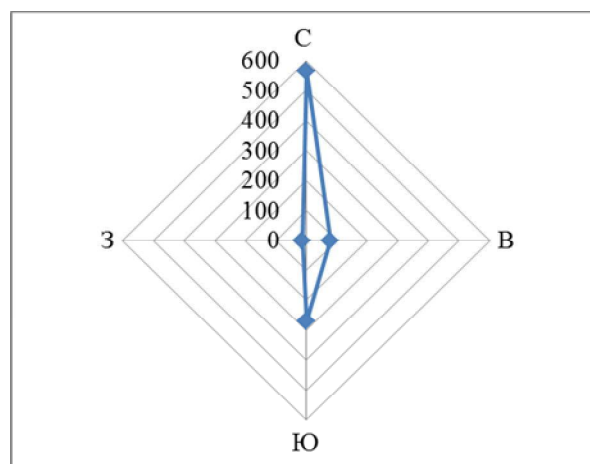


Рис. 6. Распределение в почве нефтепродуктов по точкам отбора (мг/кг)

При проведении химического анализа вейника Лангсдорфа не было обнаружено присутствия нефтепродуктов и превышения содержания исследуемых веществ. Визуально было отмечено морфологическое изменение развития вейника на всей

территории. Для определения различий в росте по всем точкам исследования были проведены замеры размеров побега, длины и ширины листьев, а также междоузлий. Результаты замеров представлены в таблице 5.

Таблица 5

**Морфологические данные вейника Лангдорфа на исследуемом участке**

Точки сбора	Высота побега	Длина листа	Ширина листа	Длина междоузлий
1 – север	77,67±8,68	35,67±0,45	0,7±0,67	11,73±1,29
2 – запад	64,56±0,69	28,0±0,31	0,83±0,09	10,5±2,13
3 – восток	57,8±0,64	20,33±0,38	0,69±0,078	8±0,98
4 – юг	39,33±0,56	17,67±0,39	0,8±0,091	8,16±1,08

Исследование изменчивости морфологических признаков вегетативных орга-

нов вейника выявило, что уровень изменчивости средний и высокий, изменчивость

признаков характеризуется различной амплитудой. Наиболее изменчивыми являются длина и ширина листа. Изменчивость или вариабельность признаков составила: 21,3–38,4% и 30,32–33,4%. Наименее изменчивым оказался показатель высоты побега: CV 6–10,8%.

При проведении анализа изменчивости исследуемых признаков морфологии

вейника Лангсдорфа по всем точкам сбора были построены графики, представленные на рисунках 7–10. Пространственное распределение показателей морфологических изменений вейника совпадает с распределением нефтепродуктов и органического вещества.

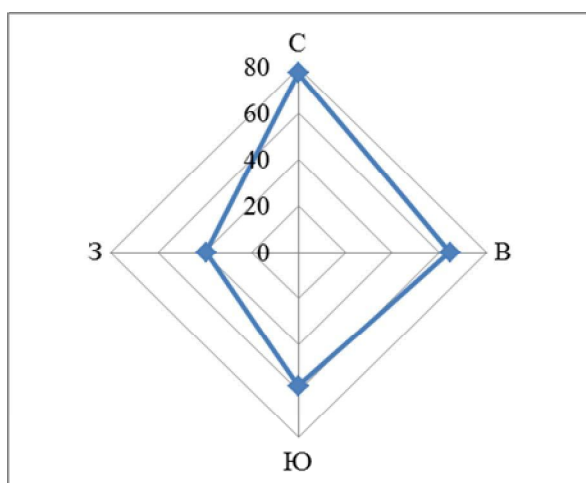


Рис. 7. Высота побега вейника Лангсдорфа по точкам сбора (см)

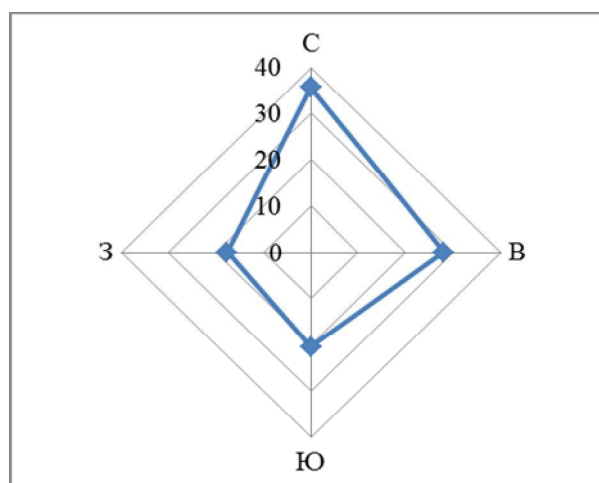


Рис. 8. Длина листа вейника Лангсдорфа по точкам сбора (см)

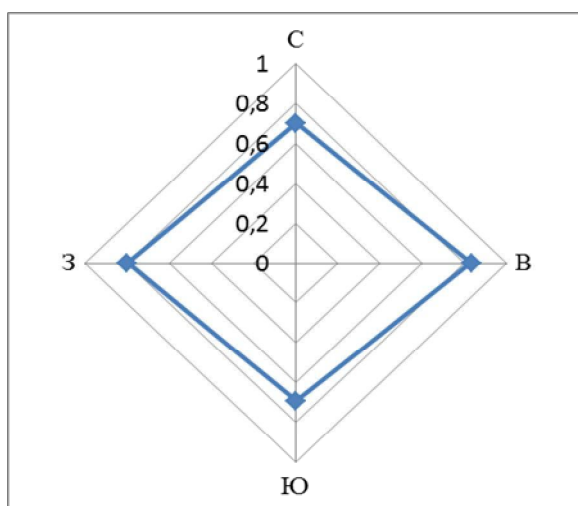


Рис. 9. Ширина листа вейника Лангсдорфа по точкам сбора (см)

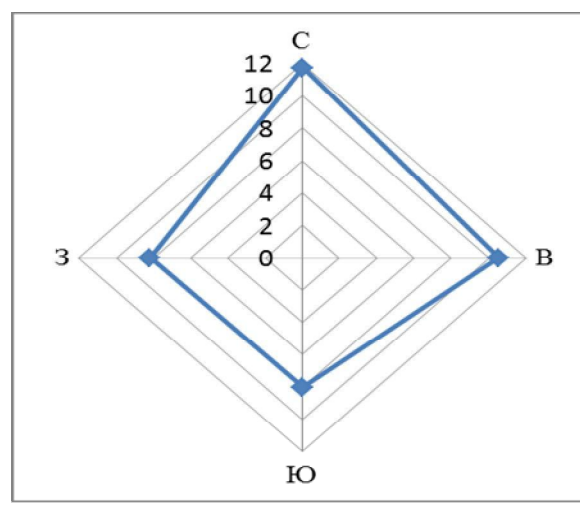


Рис. 10. Длина междоузлий вейника Лангсдорфа по точкам сбора (см)

При расчете корреляции морфологических признаков была выявлена наибольшая зависимость между высотой побега и длиной листьев и длиной междоузлий: 0,93 и 0,978.

Итак, согласно полученным данным, на территории, прилегающей к шламовому амбару, осаждение и задержка загрязняющих веществ большей частью происходит в суглинистых и глинистых почвах. Изме-

ния морфологии вейника Лангдорфа показало зависимость накопления нефтепродуктов, органического вещества, аммония и развития особей этого растения. Согласно данным, представленным в таблице 5, видно, что максимальный рост вейника наблюдается на севере, где нефтепродуктов почти в 11 раз больше угнетающего уровня. Нефтепродукты оказывают стимулирующее действие на рост этого вида, на этой же стороне участка отмечается большее содержание органических веществ и аммо-

нийного азота, в 10–20 раз больше, чем на других точках участка. Таким образом, в результате данного исследования не подтверждено угнетающее действие нефтешламов на рост и развитие вейника.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 15-44-00028.*

*Авторы выражают благодарность сотрудникам ОАО «Самотлорнефтегаз» за предоставленную возможность сбора материала.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бабушкин А.Г., Московченко Д.В., Пикунов С.В. Гидрохимический мониторинг поверхностных вод Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. – Новосибирск, 2007.
2. Бенднаржевская А.С., Корнилова О.Н., Лопатин С.А., Пушкарев Н.С., Суздальцев В.А. Комплексная экологическая оценка фоновых территорий районов нефтегазодобычи Западной Сибири // Вестник новых медицинских технологий. – 2010. – Т. XVII. – № 1. – С. 142–144.
3. Зильберман М.В., Порошина Е.А., Зырянова Е.В. Биотестирование почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. – Пермь, 2005.
4. Каменщикова В.И. Оценка экологического состояния почв таежно-лесной зоны с помощью фитотестирования // Вестник Пермского ун-та. – 2013. – Вып. 3. – С. 80–85.
5. Киреева Н.А., Григориади А.С., Амирова А.М., Якупова А.Б. Мониторинг детоксикации и биоремедиации почвы, загрязненной нефтешламом // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14. – № 1 (9). – С. 2415–2417.
6. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Биодиагностика экологического состояния почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. – Ростов н/Д., 2007. – С. 192.
7. Москвина И.Л., Овечкина Е.С., Овечкин Ф.Ю. Изменение некоторых морфологических параметров сосны обыкновенной в зоне влияния факелов сжигания попутного нефтяного газа Среднего Приобья // Проблемы региональной экологии. – 2006. – № 3. – С. 17–23.
8. Назарова А.В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на растения // Вестник Пермского ун-та. – 2007. – Вып. 5 (10). – С. 134–141.
9. Овечкина Е.С. Состояние пойменных экосистем Ваха // Исследования эколого-географических проблем природопользования для обеспечения территориальной организации и устойчивого развития нефтегазовых регионов России: Теория, методы, практика. Материалы I Всероссийской научно-практической конференции. – Нижневартовск, 2000.
10. Овечкина Е.С., Шаяхметова Р.И., Баранников С.М. Диаметральный прирост сосны обыкновенной в Нижневартовском районе (Тюменская область) // Евразийский союз ученых. – 2014. – № 6. – С. 133–135.
11. Плохинский Н.А. Биометрия. – М., 1970.
12. Самотлорское месторождение. <http://www.webcitation.org/69iManjuW>.
13. Усманов И.Ю., Овечкина Е.С., Юмагулова Э.Р., Иванов В.Б., Щербаков А.В., Шаяхметова Р.И. Проблемы самовосстановления экосистем Среднего Приобья при антропогенных воздействиях нефтедобывающего комплекса // Вестник Нижневартовского гос. ун-та. – 2015. – № 1. – С. 79–86.
14. Экология Ханты-Мансийского автономного округа / Под ред. В.В. Плотникова. – Тюмень, 1997.
15. Banks M.K., Schwab P., Liu B. et al. The Effect of Plants on the Degradation and Toxicity of Petroleum Contaminants in Soil: A Field Assessment // Advances in Biochemical Engineering // Biotechnology. – 2003. – Vol. 78. – P. 75–96.

## REFERENCES

1. Babushkin, A.G., Moskovchenko, D.V., Pikunov, S.V. *Gidrokhimicheskiy monitoring poverhnostnykh vod Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga-Yugry* [Hydrochemical monitoring of surface waters of Khanty-Mansiysk Autonomous District-Yugra]/ A.G. Babushkin, D.V. Moskovchenko, S.V. Pikunov. Novosibirsk: Nauka, 2007. (In Russian).
2. Bendnarzhevskaya, A.S., Kornilova, O.N., Lopatin, S.A., Pushkarev, N.S., Suzdaltsev, V.A. *Kompleksnaya ekologicheskaya otsenka fonovykh territoriy rajonov neftegazodobychi Zapadnoy Sibiri* [Integrated ecological assessment of background areas of oil and gas areas of Western Siberia]// *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2010. Vol. XVII, №1. P. 142–144. (In Russian).
3. Zilberman, M. V., Poroshina, E.A., Zyrjanova, E.V. *Biotestirovanie pochv, zagryaznennykh neftyu i nefteproduktami* [Biotesting of soils contaminated with oil and oil products]. Perm, 2005. (In Russian).
4. Kamenshchikova, V.I. *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya pochv taezhno-lesnoy zony s pomoshchyu fitotestirovaniya* [Evaluation of the ecological state of taiga-forest soils using phyto-testing]// *Vestnik Permskogo universiteta*. 2013. Issue 3. P. 80–85. (In Russian).
5. Kireeva, N.A., Grigoriadi, A.S., Amirova, A.M., Yakupova, A.B. *Monitoring detoksikatsii i bioremediatsii pochvy, zagryaznennoy nefteshlamom* [Monitoring of detoxification and bioremediation of soil contaminated with oil sludge]// *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2012. Vol.14. №1(9). P. 2415–2417. (In Russian).
6. Kolesnikov, S.I., Kazeev, K.Sh., Valkov, V.F. *Biodiagnostika ekologicheskogo sostoyaniya pochv zagryaznennykh neftyu i nefteproduktami* [Biodiagnostics of ecological condition of soils contaminated with oil and oil products]. Rostov-on-Don: Rostizdat. 2007. P. 192. (In Russian).
7. Moskvina, I.L., Ovechkina, E.S., Ovechkin, F.Ju. *Izmenenie nekotorykh morfologicheskikh parametrov sosny obyknovennoy v zone vliyaniya fakelov szhiganiya poputnogo nefljanogo gaza Srednego Priobiya* [Changes in some morphological parameters of Scots pine in the zone impacted by gas flaring in the Middle Ob region]// *Problemy regionalnoy ekologii*. 2006. №3. P. 17–23. (In Russian).
8. Nazarova, A.V. *Vliyanie neftyanogo zagryazneniya pochvy na rasteniya* [The impact of oil pollution of soil on plants]// *Vestnik Permskogo universiteta*. 2007. Issue 5(10). P. 134–141. (In Russian).
9. Ovechkina, E.S. *Sostoyanie poymennykh ekosistem Vakh* [State of floodplain ecosystems of the Vakh River]// *Issledovaniya jekologo-geograficheskikh problem prirodopolzovaniya dlya obespecheniya territorialnoy organizatsii i ustoychivogo razvitiya neftegazovykh regionov Rossii: Teoriya, metody, praktika. Materialy I Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Nizhnevartovsk: NGPI. KhMAO RAEN, IOA RAN. Priobiye. 2000. (In Russian).
10. Ovechkina, E.S., Shayakhmetova, R.I., Barannikov, S.M. *Diametralniy prirost sosny obyknovennoy v Nizhnevartovskom rajone (Tyumenskaya oblast)* [Diametric growth of Scots pine in Nizhnevartovsk region (Tyumen region)] // *Evraziyskiy sojuz uchenykh*. 2014. №6. P. 133–135. (In Russian).
11. Plokhinskiy, N.A. *Biometriya* [Biometry]. Moscow: Moscow State University. 1970. 186 p. (In Russian).
12. *Samotlorskoe mestorozhdenie* [Samotlor oil field]. <http://www.webcitation.org/69iManjuW> (In Russian).
13. Usmanov, I.Yu., Ovechkina, E.S., Yumagulova, E.R., Ivanov, V.B., Shcherbakov, A.V., Shayakhmetova, R.I. *Problemy samovosstanovleniya ekosistem Srednego Priobiya pri antropogennykh vozdeystviyakh neftedobyvayushchego kompleksa* [Problems of self-regeneration of the Middle Obecosystems under anthropogenic impact of oil producing facilities]// *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2015. № 1. P. 79–86. (In Russian).
14. *Ekologiya Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga* [Ecology of Khanty-Mansiysk Autonomous District]/ Ed. by V.V. Plotnikov. Tyumen: SoftDizajn, 1997. (In Russian).
15. Banks, M.K., Schwab, P., Liu, B. et al. *The Effect of Plants on the Degradation and Toxicity of Petroleum Contaminants in Soil: A Field Assessment* // *Advances in Biochemical Engineering // Biotechnology*. 2003. Vol. 78. P. 75–96.

**I.Yu. Usmanov**  
*Nizhnevartovsk, Russia*  
**E.S. Ovechkina**  
*Nizhnevartovsk, Russia*  
**R.I. Shayakhmetova**  
*Nizhnevartovsk, Russia*

### SPREAD OF OIL SLUDGE EFFECT

**Abstract.** The territory of the Samotlor oil field currently locates certain objects that are sources of oil contamination. Remediating polluted lands and building sludge pits are not effective in terms of isolating the pollutants which effect the growth and development of plants when transported through air and soil.

According to our analysis, many researchers are concerned about the problem of biogeocenosis impacted by anthropogenic factors. The present paper provides data on the pollutant content in the soil near an oil sludge pit at the Samotlor field. It has been discovered that oil sludge concentrated in pits makes diverse impacts on the environment.

The soil texture conditions the way oil products are accumulated and change its chemical composition.

This work is aimed at determining pollutants in soil and plants, as well as defining the pollutant transportation range.

In the course of research, the authors studied a particular oil sludge pit area, described plant communities and made a chemical analysis of adjacent soil and plants.

As a result, the study revealed the accumulation of oil products in loamy soils, and no traces of oil in sandy soils and plants. The negative impact of the oil sludge pit is indirectly indicated by the changes in vegetation and conditions of plants.

According to our study, pollutants are deposited and accumulated in loamy and clay soils adjacent to the studied sludge pit. Those plants growing in the sand show no marked traces of oil pollution.

**Key words:** oil sludge, oil field, pollutants, vegetation, plant development.

**About the authors:** Iskander Yusufovich Usmanov, Doctor of Biology, Professor at the Department of Ecology; Elena Sergeevna Ovechkina, Candidate of Biological Sciences, Assistant Professor at the Department of Ecology; Raisa Irschatovna Shayakhmetova, Technician at the Geoecological Research Laboratory.

**Place of employment:** Nizhnevartovsk State University.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
НИЖНЕВАРТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

**Уважаемые коллеги!**

**09–10 февраля 2016 года**

**в Нижневартовском государственном университете состоится**

**V Международная научно-практическая конференция  
«КУЛЬТУРА, НАУКА, ОБРАЗОВАНИЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ»**

Приглашаем аспирантов, молодых ученых, преподавателей и сотрудников образовательных учреждений, специалистов-практиков принять участие в конференции, целью которой является обсуждение актуальных проблем и перспектив развития культуры, науки и образования.

По итогам конференции будет издан сборник научных трудов.

Сборник научных трудов постатейно размещается в *Научной электронной библиотеке (Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) (договор № 1131-05/2014К), а также будет размещен в международных базах цитирования.*

Издаваемый сборник по материалам конференции – официальный:

– присваиваются индексы ББК, авторский знак и ISBN – Международный стандартный номер книги (International Standard Book Number)

Материалы конференции будут находиться в свободном доступе на сайте <http://elibrary.ru>

**Основные направления работы конференции:**

- Гуманитарное направление;
- Естественнонаучное направление;
- Психолого-педагогическое направление;
- Физико-математическое направление;
- Информационные технологии и вычислительные системы;
- Экономика и менеджмент;
- Физическая культура и спорт;
- Философия и культурология;
- Культура и искусство;
- Электроэнергетика и электротехника.

**Рабочие языки:** русский, английский, немецкий.

**Контактный адрес оргкомитета конференции:** 628605, г. Нижневартовск, ул. Ленина, д. 56, каб. 219, главный корпус НВГУ (Управление научных исследований)

**Контактный телефон:** (3466) 45-18-20.

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

**Web:** [www.nggu.ru](http://www.nggu.ru), [nvgu.pf](http://nvgu.pf)

## Уважаемые коллеги!

Издательство Нижневартковского государственного университета приглашает ученых, преподавателей, сотрудников научно-исследовательских институтов и лабораторий, аспирантов, соискателей опубликовать результаты своих исследований в области биологических, педагогических, гуманитарных наук.

«Вестник Нижневартковского государственного университета» — периодическое научное издание. Журнал выходит ежеквартально.

Журнал выходит в трех тематических выпусках, отражающих следующие научные направления:

- **Биологические науки.**  
03.02.08 Экология.
- **Гуманитарные науки.**  
07.00.02 Отечественная история.  
07.00.03 Всеобщая история.
- **Педагогические науки**  
13.00.04 Теория и методика физического воспитания, спортивной тренировки, оздоровительной и адаптивной физической культуры.  
13.00.08 Теория и методика профессионального образования

Тематические выпуски скомплектованы в соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 № 59 (в ред. Приказов Минобрнауки РФ от 11.08.2009 № 294, от 10.01.2012 № 5), и таблицей соответствия направлений (аспирантура), утвержденной приказом Минобрнауки России от 06.11.2013 № АК-2589/05.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-55479 от 25 сентября 2013 г.

«Вестник Нижневартковского государственного университета» зарегистрирован в ISSN реестре:

ISSN 2311-1402 (печатная версия журнала);

ISSN 2311-4444 (электронная версия журнала).

Журнал включен в Каталог российской прессы «Почта России» (подписной индекс: 24943) и в систему Российского индекса научного цитирования (РИНЦ).

Публикация в журнале бесплатная.

## Как опубликовать статью?

Вы отправляете нам статью и сведения об авторе по адресу e-mail: uni@nvsu.ru.

Оформление статьи: формат листа – А4, поля вокруг текста – 2 см, гарнитура шрифта – Times New Roman, размер шрифта – 12 пт, межстрочный интервал – одинарный, абзацный отступ – 1 см, список литературы – по ГОСТ 7.0.5.2008.

Статья помимо основного текста должна содержать аннотацию и ключевые слова (на русском и английском языках), код УДК. Сведения об авторе: Ф.И.О. полностью, ученая степень, ученое звание; аспиранты, соискатели — указать вуз и кафедру; место работы (город, организация, подразделение), должность; корреспондентский почтовый адрес; контактный телефон; контактный e-mail.

Аспиранты и соискатели дополнительно предоставляют отзыв научного руководителя на статью.

Статья направляется на рецензирование (7—14 рабочих дней). При положительной рецензии работа публикуется в ближайшем выпуске, соответствующем тематике Вашей статьи; один экземпляр издания направляется Вам.

В случае отказа в публикации автору направляется мотивированный отказ.

## Контактная информация

Адрес: 628600, Россия, г. Нижневартовск, ул. Ленина, д. 56, Нижневартковский государственный университет, управление научных исследований (каб. 219).

Телефон: (3466) 451820

E-mail: uni@nvsu.ru

Web: www.nvsu.ru или nngu.rф

Куратор: Овечкина Елена Сергеевна, начальник управления научных исследований