



**НАУКА**

**и глобальные вызовы  
XXI века**

**МАТЕМАТИКА  
И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ**

Пермь, 2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# МАТЕМАТИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ – 2018

Материалы  
Всероссийской научно-практической конференции  
молодых ученых с международным участием

(г. Пермь, 14–19 мая 2018 г.)



Пермь 2018

УДК 51:001  
ББК 22.1:1  
М34

**Математика** и междисциплинарные исследования – 2018  
М34 [Электронный ресурс]: материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием (г. Пермь, 14–19 мая 2018 г.) / гл. ред. А. П. Шкарапута; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Электрон. дан. – Пермь, 2018. – 8.9 Мб. – Заглавие с титульного экрана. – *Систем. требования*: процессор Intel Pentium II; 256 Мб RAM; 30 Мб HDD; ОС Windows 98 и выше; CD-ROM; ПО для чтения документов в формате PDF.

ISBN 978-5-7944-3091-2

В данном сборнике представлены статьи участников Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Математика и междисциплинарные исследования – 2018». На конференцию было прислано более ста статей из различных регионов России, а также из ближнего и дальнего зарубежья. По итогам работы экспертной комиссии для публикации в сборнике было отобрано семьдесят восемь статей. Каждая статья оценивалась группой экспертов в той области, которая рассматривается автором.

Представленные статьи охватывают широкий спектр таких направлений, как фундаментальная математика и механика, математическое моделирование в различных сферах, искусственный интеллект, прикладная лингвистика, информационные технологии в различных сферах, а также современные методики преподавания. Большинство работ носит междисциплинарный характер.

**УДК 51:001**  
**ББК 22.1:1**

*Издается по решению ученого совета механико-математического факультета  
Пермского государственного национального исследовательского университета*

*Редакционная коллегия*

А.П. Шкарапута (гл. ред.), В.Г. Алябьева, В.Н. Аптуков, Н.Б. Асташина, Е.В. Бабушкина, М.Л. Бартоломей, М.М. Бузмакова, И.Н. Власова, В.Г. Гилев, Д.С. Голдобин, А.Ю. Городилов, Е.Ю. Данилова, К.В. Доможирова, Е.Б. Замятина, И.В. Зорин, Е.В. Исаева, Н.С. Кожевникова, Т.А. Костарева, Д.С. Курушин, В.В. Ланин, Е.В. Левченко, Л.Н. Лядова, П.В. Максимов, Н.А. Медведева, В.В. Морозенко, Т.В. Норина, Е.Н. Остапенко, О.И. Перескокова, В.М. Пестренин, М.А. Плаксин, И.С. Постановов, С.В. Русаков, О.Л. Русакова, К.В. Рябинин, О.В. Сандакова, Т.Н. Соловьева, А.О. Сухов, Е.Н. Харебова, Е.К. Хеннер, О.В. Хлынова, А.В. Худякова, А.В. Черников, С.И. Чуприна, Ю.А. Шарапов, К.Г. Шварц, В.И. Яковлев

ISBN 978-5-7944-3091-2

© ПГНИУ, 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

### 1. ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ, МЕХАНИКИ И ИНФОРМАТИКИ

**Агибалова О.С., Стрелкова Н.А.**

МИНИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ В ЗАДАЧЕ  
ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯМИ  
ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА ..... 15

**Бублик С.А., Семин М.А.**

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО  
ТЕЧЕНИЯ НЕФТИ В ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТОМ КОЛЛЕКТОРЕ ..... 19

**Бузмакова Г.В.**

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАЗВЕРТЫВАНИЕ КРУПНОГАБАРИТНОЙ  
ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ УПАКОВАННОГО СОСТОЯНИЯ · 24

**Валиуллин Н.Р.**

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ ГРАФЕ  
ИЗ СТРУН ..... 28

**Добрынина А.К.**

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВИНТОВОГО  
ЗАБОЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ В СТАЦИОНАРНОМ ДВИЖЕНИИ ..... 33

**Иванов Е.А., Григорьева И.И.**

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УРОВНЯ ПРОДАЖ ЗА СЧЕТ  
ОПТИМИЗАЦИИ ТИПОВОГО БИЗНЕС-ПРОЦЕССА ..... 37

**Климов Н.А., Колмогоров Г.Л.**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ  
СТАЛИ 45 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ 42

**Колчанова Е.А., Колчанов Н.В.**

КОНВЕКТИВНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ В СИСТЕМЕ СЛОЕВ ЖИДКОСТИ И ПОРИСТОЙ СРЕДЫ С ПЕРЕМЕННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ В МОДУЛИРОВАННОМ ПОЛЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ .....47

**Котельников Д.А., Перескокова О.И.**

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСПЕВАЕМОСТИ ПЕРВОКУРСНИКОВ ПО РАСШИРЕННЫМ РЕЗУЛЬТАТАМ ЕГЭ .....51

**Кудрявцев А.В.**

РЕАЛИЗАЦИЯ СЛОЯ СООБЩЕНИЙ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ .....54

**Кучкова Т.Ю., Лутманов С.В.**

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМЕЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ, ЛИНЕАРИЗИРОВАННОЙ В ОКРЕСТНОСТИ БАЗОВОГО ДВИЖЕНИЯ, ПО КРИТЕРИЯМ "МИНИМУМ ЭНЕРГИИ" И "МИНИМУМ СИЛЫ" .....60

**Макурин Р.А., Городилов А.Ю.**

АВТОМАТИЧЕСКОЕ СОСТАВЛЕНИЕ УЧЕБНЫХ РАСПИСАНИЙ .....64

**Миллер Ю.О., Бидуля Ю.В.**

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АССИСТЕНТА СПЕЦИАЛИСТА ОТДЕЛА ПРОДАЖ .....68

**Митрофанова В.С., Бидуля Ю.В.**

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕРКИ СЛУХОВ В СРЕДСТВАХ МАССОВОЙ ИНФОРМАЦИИ .....72

**Никифорова К.В., Данилова Е.Ю.**

ПОСТРОЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПЛИС .....76

<b>Никулин Е.Б.</b>	
РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ МОБИЛЬНОЙ АВТОМОЙКИ .....	80
<b>Овчинников В.А., Лутманов С.В.</b>	
ОПТИМАЛЬНАЯ КОРРЕКЦИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ВРАЩЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ПО КРИТЕРИЯМ «МИНИМУМ ЭНЕРГИИ» И «МИНИМУМ СИЛЫ» .....	84
<b>Огурецкая А.И., Соловьева Т.Н.</b>	
АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ПОСЕЩАЕМОСТИ .....	89
<b>Синицына Т.И.</b>	
МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ ПРОГРАММНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ .....	92
<b>Смородов А.А.</b>	
КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИГРЫ КАК СРЕДСТВО ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ВУЗА .....	96
<b>Ступников А.А., Ивашко А.Г.</b>	
РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ ТАБЛИЧНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ДЕСКРИПЦИОННОЙ ЛОГИКИ SHIQ .....	100
<b>Суходоева Т.С., Каменских А.А.</b>	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ С УЧЕТОМ СМЕНЫ ФАЗ .....	104
<b>Трофимов И.В., Постаногов И.С.</b>	
РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ПОИСКА СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПОНЯТИЯМИ В КОЛЛЕКЦИИ ОНТОЛОГИЙ .....	107
<b>Турова И.А., Постаногов И.С.</b>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ТРАНСФОРМАЦИИ ЕСТЕСТВЕННО- ЯЗЫКОВЫХ ЗАПРОСОВ В SPARQL-ЗАПРОСЫ .....	111

**Ушакова Д.Е.**

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МЕТОДЫ  
DSL, ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ..... 115

**Фетисов К.В., Максимов П.В.**

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ  
И АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ  
ЛЕГКОВЕСНЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ..... 120

**Хакимуллина А.А., Дацун Н.Н.**

ВЫСОКОУРОВНЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ОБУЧЕНИИ ОСНОВАМ  
ПРОГРАММИРОВАНИЯ ..... 124

**Черняев А.С., Постановов И.С.**

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНФИГУРИРОВАНИЯ И ОТЛАДКИ ОБДА-  
СИСТЕМ ..... 127

## **2. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**

**Хорошев Д.В., Ильялов О.Р.**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФИБРОЗНОГО  
КОЛЬЦА НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НДС МЕЖПОЗВОНОЧНОГО  
ДИСКА ..... 132

**Целищев В.Ю., Смородин Б.Л.**

ЭВОЛЮЦИЯ ЗАРЯДА В НЕПОДВИЖНОЙ СЛАБОПРОВОЖАЩЕЙ  
ЖИДКОСТИ, ЗАПОЛНЯЮЩЕЙ ПЛОСКИЙ КОНДЕНСАТОР, ПРИ  
АВТОНОМНОЙ УНИПОЛЯРНОЙ ИНЖЕКЦИИ ..... 136

**Шитоев И.Д., Никитин В.Н., Тверье В.М., Няшин Ю.И.**

ВЛИЯНИЕ ДИСФУНКЦИИ ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОГО СУСТАВА  
НА ПОТЕРЮ УСТОЙЧИВОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СОННОЙ АРТЕРИИ ... 140

### 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Алексеев А.О.**

НЕМАНИПУЛИРУЕМОСТЬ МЕХАНИЗМА КОМПЛЕКСНОГО  
ОЦЕНИВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МАТРИЦЫ СВЕРТКИ С  
ПОМОЩЬЮ МАТРИЧНОГО АНОНИМНОГО ОБОБЩЕННОГО  
МЕДИАННОГО МЕХАНИЗМА ..... 144

**Ахуньянова С.А.**

Р-АДИЧЕСКОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ  
ИНДЕКСА РТС ..... 148

**Боков К.А., Бузмакова М.М.**

ПЕРКОЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ  
ПОЛИМЕРА, МОДИФИЦИРОВАННОЙ УГЛЕРОДНЫМИ  
НАНОТРУБКАМИ ..... 155

**Гарафутдинов Р.В.**

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ С ДОЛГОЙ ПАМЯТЬЮ ДЛЯ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ФОНДОВОГО ИНДЕКСА ..... 158

**Гильманов А.Р., Окунев А.А.**

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕЙРОСЕТЕВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ С  
ПОМОЩЬЮ ПРЕДОБРАБОТКИ ДАННЫХ ..... 162

**Ильиных М.С., Бояршинова И.Н.**

ДВУХЭТАПНОЕ ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ  
МИНИМАЛЬНОГО ВЕСА ..... 165

**Иммис М.В.**

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ВНУТРЕННЕЙ МИГРАЦИИ МЕЖДУ  
ФЕДЕРАЛЬНЫМИ ОКРУГАМИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ..... 170



<b>Каменских А.А., Крецу К.С.</b>	
БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ КОНТАКТ ЗУБНОЙ ПАРЫ.....	174
<b>Каменских А.А., Устюгова Т.Н.</b>	
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗУБНОЙ ПАРЫ.....	178
<b>Конотоп Д.А., Максимов П.В.</b>	
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЯТНИКОВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА С ЗАМКНУТЫМ КОНТУРОМ .....	181
<b>Мазейна Н.Н.</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СВАЙ ИЗ ГРУНТА С ПОМОЩЬЮ МНОГОСТВОЛЬНЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОРУДИЙ .....	185
<b>Моисеев В.И.</b>	
ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОЧЕРЕДЕЙ В ETHERNET-КОММУТАТОРАХ .....	189
<b>Пермякова О.О.</b>	
КОНОСКОПИЧЕСКИЕ ФИГУРЫ В ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ .....	193
<b>Пьянков М.А., Симонов П.М.</b>	
ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОДНОГО ИЗ КРУПНЕЙШИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ХРОМОВЫХ СПЛАВОВ В МИРЕ	197
<b>Федорук М.Н., Чичагов В.В.</b>	
ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ТОЛЕРАНТНЫХ ИНТЕРВАЛОВ В СЛУЧАЕ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОТРИЦАТЕЛЬНОГО БИНОМИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ .....	204

**Феоктистова Е.В., Осипенко М.А., Куюкина М.С., Ившина И.Б.**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ КЛАСТЕРОВ  
БАКТЕРИЙ РОДА RHODOSPIRILLUM В ПРИСУТСТВИИ УГЛЕВОДОРОДА  
..... 207

**Чусовлянкин А.А.**

РАСЧЕТ ДОЗИРОВКИ ИНСУЛИНА ДЛЯ БОЛЬНЫХ САХАРНЫМ  
ДИАБЕТОМ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ 211

#### **4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРОГРАММНО- ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ГУМАНИТАРНЫХ НАУКАХ**

**Абашев М.А.**

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ  
..... 215

**Антоненко А.Р.**

МОДУЛЬ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕРНЕТ НОВОСТЕЙ  
..... 220

**Ахметьянова А.И., Исмагилова А.С., Хурсан С.Л., Зиганшина Ф.Т.**

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ  
ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИКИ ХИМИЧЕСКИХ  
СОЕДИНЕНИЙ ..... 224

**Байрамова Е.А.**

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИИ ДЛЯ ВЫБОРА  
МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МОДЕЛИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ  
..... 228

<b>Близнюк О.А., Мишланова М.А., Мишланова А.А., Шкарапута А.П.</b>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ОТКЛИКА НА ОСНОВЕ ОТНОШЕНИЙ ЧАСТОТ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ.....	232
<b>Боброва Ю.В.</b>	
ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПОСТРОЕНИЮ РАСПИСАНИЯ ДЛЯ УЧРЕЖДЕНИЯ СОЦИАЛЬНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.....	236
<b>Вшивков М.А.</b>	
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА В ПРОСТРАНСТВЕ .....	240
<b>Галиева Ю.А., Чуприна С.И.</b>	
АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗНАНИЙ ИЗ ТАБЛИЧНЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ .....	244
<b>Гостева Е.А., Ланин В.В.</b>	
РАЗРАБОТКА ПРОДУКЦИОННОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ .....	249
<b>Гуляев В.Ю., Каликова А.Р., Симонова Н.А.</b>	
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ ДЛЯ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ СТИЛЯ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ.....	253
<b>Есюнин Н.О.</b>	
ХАРАКТЕРИСТИКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ IBM MAXIMO ASSET MANAGEMENT И ЕЕ ВНЕДРЕНИЕ НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ «ЛУКОЙЛ» .....	257
<b>Зелингский Г.Е., Григорьева И.И.</b>	
ПЛАНИРОВАНИЕ ТРУДОЗАТРАТ ПРОЕКТА ПРИ ФИКСИРОВАННОМ БЮДЖЕТЕ» В ТИПОВОЙ КОНФИГУРАЦИИ 1С: УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ.....	262

<b>Кашапов А.Х., Куликов А.С.</b>	
РАЗРАБОТКА VRMS ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ .....	269
<b>Копылов Н.Р., Дацун Н.Н.</b>	
PEER ASSESSMENT: ИНТЕГРАЦИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО И ПОРЯДКОВОГО ОЦЕНИВАНИЯ С MOODLE .....	273
<b>Кучумов А.И.</b>	
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА РАСПОЗНОВАНИЯ РЕЧИ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ .....	277
<b>Леонов Е.Р., Курушин Д.С.</b>	
ПРОКЛАДКА МАРШРУТА ПО КАРТЕ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ .....	280
<b>Менжаева О.А., Кушев В.О.</b>	
МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ TOGAF КАК ИНСТРУМЕНТА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСФОРМАЦИЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ .....	284
<b>Ольбрехт П.С., Кушев В.О.</b>	
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОННОГО ХРАНЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ АРХИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	287
<b>Пермяков С.С.</b>	
РАЗРАБОТКА ВИЗУАЛИЗАТОРА ГРАФОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СЕМОГРАФ .....	291
<b>Петухов А.Ю., Чичагов В.В.</b>	
КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНОСТИ ПЕРЕСТАНОВОЧНЫХ КРИТЕРИЕВ ПРИ ПРОВЕРКЕ ОДНОРОДНОСТИ ДВУХ ВЫБОРОК .....	295

**Погорелова Е.Е., Комлева Е.В., Григорьева И.И.**

МЕХАНИЗМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СПРАВОЧНОЙ,  
СЛУЖЕБНОЙ И МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ В  
«1С:МЕДИЦИНА.БОЛЬНИЦА»..... 299

**Реутов В.В., Чуприна С.И.**

КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИЙ  
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИМЕДИЙНЫМ СОПРОВОЖДЕНИЕМ  
ПРОЦЕССА СБОРКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ..... 304

**Стольников А.А., Дацун Н.Н.**

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПОИСКА  
РУССКОЯЗЫЧНЫХ ОНЛАЙН-КУРСОВ ..... 309

**Тиунова К.П.**

УПРАВЛЕНИЕ ЗНАНИЯМИ В КОНСАЛИНГОВЫХ КОМПАНИЯХ ..... 313

**Чжан А.Н.**

ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПЛЕВРАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА  
ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ ..... 316

**Шардина Э.Д., Городилов А.Ю.**

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ  
МОШЕННИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ИГРОКОВ В СЕТЕВЫХ ИГРАХ .. 320

**Щелкунов А.А.**

ПРОГРАММА-ТРЕНАЖЕР ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО  
АЛГОРИТМИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИГРЫ  
«ПОЖАРНЫЙ ТАНК»..... 323

## 5. ИСТОРИЯ МАТЕМАТИКИ, МЕХАНИКИ И ИНФОРМАТИКИ

**Анащенко М.А.**

ИСТОРИЯ ЗАДАЧ И МЕТОДОВ МЕХАНИКИ ТВЕРДОГО  
ДЕФОРМИРУЕМОГО ТЕЛА. .... 327

**Ананьева М.С., Еремеева Ю.Д.**

ВКЛАД МИХАЙЛО ВАСИЛЬЕВИЧА ЛОМОНОСОВА В МЕХАНИКУ .. 331

**Назаренкова Е.В., Яковлев В.И.**

О ВКЛАДЕ В МЕХАНИКУ АЛЕКСИ КЛЕРО ..... 337

## **1. ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ, МЕХАНИКИ И ИНФОРМАТИКИ**

## МИНИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ В ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩЕНИЯМИ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

*Агibalова Ольга Сергеевна, Стрелкова Нина Александровна*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, olga-sa94@yandex.ru

Рассматривается задача торможения экваториальной составляющей угловой скорости осесимметричного твердого тела. Управление осуществляется при помощи поворотного (верньерного) двигателя. Предполагается, что осевая составляющая угловой скорости является заданной функцией времени, а вектор управляющего внешнего момента ограничен по модулю. Критерием оптимальности является минимизация энергетических затрат. С использованием принципа максимума Л.С. Понтрягина получено точное аналитическое решение задачи. Определены оптимальные управления в форме синтеза, угловые скорости, минимальное значение критерия оптимальности. Доказано, что полученное решение доставляет абсолютный минимум функционалу энергетических затрат. Указано условие, когда решение рассматриваемой задачи не существует.

Ключевые слова: оптимальное управление; вращение твердого тела; минимум энергетических затрат; принцип максимума Понтрягина.

Уравнения управляемого вращения осесимметричного твердого тела относительно центра масс имеют вид [1]

$$\begin{cases} \dot{\omega}_1 + (I-1)\omega_2\omega_3 = u_1, & \omega_1(0) = \omega_1^0, \\ \dot{\omega}_2 - (I-1)\omega_1\omega_3 = u_2, & \omega_2(0) = \omega_2^0, \\ I\dot{\omega}_3 = u_3, & \omega_3(0) = \omega_3^0. \end{cases} \quad (1)$$

Здесь  $I = J_3 J^{-1}$ ,  $J, J_3$  ( $J \neq J_3$ ) - главные центральные моменты инерции твердого тела,  $\omega_i$  ( $i=1,2,3$ ) - проекции вектора угловой скорости на главные центральные оси инерции,  $u_i = M_i J^{-1}$ ,  $M_i$  ( $i=1,2,3$ ) - управляющие моменты.

Рассматривается задача гашения экваториальной составляющей угловой скорости, в конечный момент времени  $t = T$ :

$$\omega_1(T) = \omega_2(T) = 0. \quad (2)$$

Предполагается, что функция  $\omega_3(t)$  является заданной функцией времени  $t$ , а управление изменением экваториальной составляющей угловой скорости осуществляется с помощью поворотного (верньерного) двигателя:

$$u_1^2 + u_2^2 \leq u^0, \quad u^0 = \text{const} > 0. \quad (3)$$

Требуется найти управляющие функции  $u_1(t), u_2(t)$ , удовлетворяющие ограничению (3), и доставляющие минимум функционалу энергетических затрат



$$J = \int_0^T (u_1^2 + u_2^2) dt, \quad (4)$$

где время перехода  $T$  задано.

С помощью замены переменных

$$\omega_1 = a \cos \varphi - b \sin \varphi, \quad \omega_2 = a \sin \varphi + b \cos \varphi, \quad \varphi = \int_0^t (I-1) \omega_3(t') dt' \quad (5)$$

первые два уравнения системы (1) и соотношение (2) преобразуем к следующему виду [1, 2]

$$\begin{cases} \dot{a} = u_1 \cos \varphi + u_2 \sin \varphi, \\ \dot{b} = -u_1 \sin \varphi + u_2 \cos \varphi, \end{cases} \quad (6)$$

$$a(0) = \omega_1^0, \quad b(0) = \omega_2^0, \quad (7)$$

$$a(T) = b(T) = 0. \quad (8)$$

Для решения задачи (3), (4), (6)–(8) воспользуемся принципом максимума Л.С. Понтрягина [3]. Функция Гамильтона–Понтрягина имеет вид

$$\begin{aligned} H &= -(u_1^2 + u_2^2) + p_a(u_1 \cos \varphi + u_2 \sin \varphi) + p_b(-u_1 \sin \varphi + u_2 \cos \varphi) = \\ &= -\left(u_1 - \frac{p_1}{2}\right)^2 - \left(u_2 - \frac{p_2}{2}\right)^2 + \frac{p_1^2 + p_2^2}{4}, \end{aligned}$$

где  $p_1 = p_a \cos \varphi - p_b \sin \varphi$ ,  $p_2 = p_a \sin \varphi + p_b \cos \varphi$ ,  $p_a, p_b$  – переменные, сопряженные  $a$  и  $b$  соответственно. Из сопряженной системы получаем, что переменные  $p_a, p_b = \text{const}$ .

Из условия максимума  $H$  следует, что если

$$\frac{\sqrt{p_1^2 + p_2^2}}{2} \leq u^0, \quad (9)$$

то

$$u_1^* = \frac{p_1}{2}, \quad u_2^* = \frac{p_2}{2}; \quad (10)$$

если

$$\frac{\sqrt{p_1^2 + p_2^2}}{2} \geq u^0, \quad (11)$$

то

$$u_1^* = u^0 \frac{p_1}{\sqrt{p_1^2 + p_2^2}}, \quad u_2^* = u^0 \frac{p_2}{\sqrt{p_1^2 + p_2^2}}. \quad (12)$$

Рассмотрим ситуацию, когда выполняется неравенство (9). Подставим выражения (10) в систему (6), а затем, учитывая краевые условия (7), (8), найдем функции  $a(t)$ ,  $b(t)$  и управления  $u_1^*, u_2^*$ :

$$a = \omega_1^0 \left(1 - \frac{t}{T}\right), \quad b = \omega_2^0 \left(1 - \frac{t}{T}\right), \quad (13)$$

$$u_1^* = \frac{\omega_2^0 \sin \varphi - \omega_1^0 \cos \varphi}{T}, \quad u_2^* = -\frac{\omega_1^0 \sin \varphi + \omega_2^0 \cos \varphi}{T}. \quad (14)$$

Вычислим энергетические затраты, используя выражения (14)

$$J = \frac{\omega_1^{0^2} + \omega_2^{0^2}}{T}. \quad (15)$$

Из соотношений (9), (10), (14) следует, что для рассматриваемого случая время окончания процесса должно удовлетворять неравенству

$$T \geq \frac{\sqrt{\omega_1^{02} + \omega_2^{02}}}{u^0}. \quad (16)$$

Используя полученные формулы (5), (13), (14) найдем угловые скорости  $\omega_1(t)$ ,  $\omega_2(t)$  и оптимальные управления в форме синтеза

$$\omega_1 = \left(1 - \frac{t}{T}\right) (\omega_1^0 \cos\varphi - \omega_2^0 \sin\varphi), \quad \omega_2 = \left(1 - \frac{t}{T}\right) (\omega_1^0 \sin\varphi + \omega_2^0 \cos\varphi). \quad (17)$$

$$u_1^* = -\frac{\omega_1}{T-t}, \quad u_2^* = -\frac{\omega_2}{T-t}. \quad (18)$$

Пусть теперь выполняется неравенство (11). В этом случае из соотношений (6)–(8), (12) следует, что рассматриваемая задача имеет решение только при

$$T = \frac{\sqrt{\omega_1^{02} + \omega_2^{02}}}{u^0}. \quad (19)$$

При этом значении  $T$  функции  $\omega_1(t)$ ,  $\omega_2(t)$  имеют прежний вид (17), а управления  $u_1^*$ ,  $u_2^*$  и затраты энергии можно представить в эквивалентном выражениям (15), (18) виде

$$u_1^* = -u^0 \frac{\omega_1}{\sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2}}, \quad u_2^* = -u^0 \frac{\omega_2}{\sqrt{\omega_1^2 + \omega_2^2}}, \quad J = u^0 \sqrt{\omega_1^{02} + \omega_2^{02}}. \quad (20)$$

Время  $T$ , определяемое из формулы (20), совпадает с временем, оптимального по быстрдействию гашения экваториальной составляющей угловой скорости [1, 2].

При  $T < \frac{\sqrt{\omega_1^{02} + \omega_2^{02}}}{u^0}$  задача решения не имеет.

Докажем, что найденное оптимальное управление действительно доставляет минимум функционалу энергетических затрат (4). Для этого покажем, что при любых  $u_1, u_2$

$$J = \int_0^T (u_1^2 + u_2^2) dt \geq \frac{\omega_1^{02} + \omega_2^{02}}{T}.$$

Введем в рассмотрение два вектора

$$\bar{\xi} = \left( \frac{a(t)}{\sqrt{a^2(t) + b^2(t)}}, \frac{b(t)}{\sqrt{a^2(t) + b^2(t)}} \right), \quad \bar{v} = (v_1, v_2),$$

где  $v_1(t) = u_1(t) \cos\varphi + u_2(t) \sin\varphi$ ,  $v_2(t) = -u_1(t) \sin\varphi + u_2(t) \cos\varphi$ , причем  $v_1^2 + v_2^2 = u_1^2 + u_2^2$ . Учитывая (6) получаем

$$\frac{d\sqrt{a^2(t) + b^2(t)}}{dt} = (\bar{v}(t), \bar{\xi}(t)).$$

Проинтегрируем это уравнение и воспользуемся краевыми условиями (7), (8):

$$-\sqrt{\omega_1^{02} + \omega_2^{02}} = \int_0^T (\bar{v}(t), \bar{\xi}(t)) dt.$$

Тогда

$$\sqrt{\omega_1^{02} + \omega_2^{02}} \leq \int_0^T |(\bar{v}(t), \bar{\xi}(t))| dt \leq \int_0^T \sqrt{u_1^2(t) + u_2^2(t)} dt.$$

Воспользуемся интегральным неравенством Коши-Буняковского [4]. Тогда

$$\omega_1^{02} + \omega_2^{02} \leq T \int_0^T (u_1^2(t) + u_2^2(t)) dt = TJ.$$

Отсюда 
$$J \geq \frac{\omega_1^{02} + \omega_2^{02}}{T}.$$

Следовательно  $J_{\min} = \frac{\omega_1^{02} + \omega_2^{02}}{T}$  и оно достигается при управлениях  $u_1^*, u_2^*$ ,

определяемых соотношениями (14), (18).

Таким образом, решение задачи гашения экваториальной составляющей угловой скорости осесимметричного твердого тела описывается соотношениями (15)–(18). При оптимальном движении управляющий момент имеет направление, противоположное направлению вектора экваториальной угловой скорости, модуль управляющего момента и затраты энергии прямо пропорциональны модулю начального значения вектора экваториальной угловой скорости и обратно пропорциональны времени разворота твердого тела.

#### Библиографический список

1. Черноусько Ф.Л., Акуленко Л.Д., Соколов Б.Н. Управление колебаниями. М.: Наука, 1980.
2. Акуленко Л.Д. Асимптотические методы оптимального управления. М.: Наука, 1987.
3. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1983.
4. Математическая энциклопедия. Т. 1. М.: Советская энциклопедия, 1977.

## MINIMIZATION OF ENERGY COSTS IN THE PROBLEM OF OPTIMAL CONTROL OF ROTATIONS OF THE AXISYMMETRIC SOLID BODY

*Agibalova Olga S., Strelkova Nina A.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, olga-sa94@yandex.ru

The problem of braking the equatorial component of the angular velocity of an axisymmetric solid is considered. The control is carried out by means of a rotary (vernier) engine. It is assumed that the axial component of the angular velocity is a given time function, and the vector of the controlling external moment is bounded modulo. The criterion of optimality is the minimization of energy costs. The exact analytical solution of the problem is obtained using the Pontryagin maximum principle. Optimal controls in the form of synthesis, angular velocities, and the minimum value of the optimality criterion are determined. It is proved that the obtained solution delivers an absolute minimum to the functional of energy costs. The condition when the solution of the considered problem does not exist is specified.

Keywords: optimal control; rotation of a rigid body; low energy costs; the Pontryagin maximum principle.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ТЕЧЕНИЯ НЕФТИ В ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТОМ КОЛЛЕКТОРЕ

*Бублик Сергей Анатольевич, Семин Михаил Александрович*

Горный Институт Уральского Отделения Российской Академии Наук, 614007, Россия,  
г. Пермь, ул. Сибирская, 78-а, serega-bublik@mail.ru

Рассматривается фильтрационное течение нефти в трещиновато-пористом коллекторе, вызванное снижением давления около добычной скважины. Целью данного исследования является определение полей давления и скоростей в коллекторе. Математическая модель коллектора представляет собой круговой сектор с трещиной на одной из границ. Для решения задачи рассмотрена и применена модель Дарси-Стокса. Сделана математическая постановка задачи течения флюида в системе «пористый коллектор-трещины». Решение получено численно, на неоднородной регулярной сетке в полярных координатах с помощью метода конечных разностей. Полученная система алгебраических уравнений решалась посредством итерационного метода, который реализован с помощью языка программирования C#. Представлен сравнительный анализ влияния раскрытия трещины на распределение давления и скорости течения нефти. Показано, что если раскрытие трещины достаточно мало, то давление распределяется по логарифмическому закону, однако с ростом раскрытия трещины распределение давления может существенно отличаться от логарифма.

Ключевые слова: трещиновато-пористый коллектор, фильтрация, закон Дарси, численное моделирование, метод конечных разностей.

### Введение

Современный уровень технологического развития нефтегазовой отрасли в России и мире предъявляет всё более высокие требования к предприятиям для сохранения их конкурентоспособности на рынке. В частности, это касается потребности в увеличении нефтеотдачи пласта, для чего требуется разрабатывать новые научно обоснованные подходы к изучению гидро- и термодинамических свойств карбонатных коллекторов, содержащих высоковязкую нефть и битумы.

Одна из особенностей карбонатных коллекторов в наличии сложной структуры трещин, которая оказывает своё влияние на процесс фильтрации нефти. Нефте содержащий пористый трещиноватый коллектор можно условно разделить на две части – область матрицы (поровую область) и область трещин. Область матрицы характеризуется высокой ёмкостью пустот и низкой проводимостью, в то время как трещины, напротив, характеризуются малой ёмкостью и высокой проводимостью [1]. Целью данной работы является математическое описание процесса фильтрации нефти в коллекторе с радиально ориентированными трещинами на базе подхода Дарси-Стокса.

## Постановка задачи

Для моделирования системы, в которой объединены поры и трещины, используются различные модели, которые в свою очередь делятся по уровням: микро-, мезо-, макроуровень [2].

Используемая в данной работе модель Дарси-Стокса относится к моделям мезоуровня. Суть модели заключается в том, что система пор и трещин является объединением двух зависимых систем, описываемых разными физическими законами. В поровой области движение нефти описывается законом линейной фильтрации Дарси, в области трещины – течением Пуазейля, являющимся решением уравнения Навье-Стокса. Взаимодействие областей осуществляется посредством граничного условия на стенке трещины.

Распределение давления в матрице можно получить, пользуясь уравнением пьезопроводности [3]. Это уравнение выводится из уравнения неразрывности и закона фильтрации Дарси. В итоге уравнение пьезопроводности принимает вид:

$$\frac{\partial p_m}{\partial t} = D_{matrix} \Delta p_{matrix} \quad (1)$$

где  $p_{matrix} = p_{matrix}(t, r, \varphi)$  – давление в матрице, МПа,  $r$  – радиус сектора, м,  $\varphi$  – угол сектора, рад,  $D_{matrix}$  – коэффициент диффузии матрицы, м<sup>2</sup>/сут,  $t$  – время работы скважины, сут.

Начальные и граничные условия для уравнения (1):

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{matrix} |_{t=0} = p_{circuit} \\ p_{matrix} |_{r=r_{borehole}} = p_{borehole} \\ p_{matrix} |_{r=r_{circuit}} = p_{circuit} \\ \frac{1}{r} \frac{\partial p_{matrix}}{\partial \varphi} |_{\varphi=\varphi_{start}} = \frac{\mu}{k_{soil}} v_{\varphi}, r < b r_{circuit} \\ \frac{1}{r} \frac{\partial p_{matrix}}{\partial \varphi} |_{\varphi=\varphi_{start}} = 0, r \geq b r_{circuit} \\ p_{matrix} |_{\varphi=\varphi_{start}} = p_{crack} \\ \frac{1}{r} \frac{\partial p_{matrix}}{\partial \varphi} |_{\varphi=\varphi_{end}} = 0, \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $r_{borehole}$  – радиус скважины, м,  $r_{circuit}$  – радиус контура питания, м,  $\varphi_{start}$  – начальный угол сектора, рад,  $\varphi_{end}$  – конечный угол сектора, рад,  $p_{borehole}$  – давление на скважине, МПа,  $p_{circuit}$  – давление на контуре питания, МПа,  $p_{crack} = p_{crack}(t, r)$  – давление в трещине, МПа,  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости флюида, Па·с,  $k_{soil}$  – проницаемость песчаника, мкм<sup>2</sup>,  $v_{\varphi}$  – скорость потока вдоль угла, м/сут,  $b = 0.5$ .

Введённый коэффициент  $b$  в (2) предназначен для ограничения области трещины, т.к. если трещина будет проходить через весь коллектор, то на границе с контуром питания нельзя будет задать адекватные граничные условия для взаимодействия матрицы с трещиной. Значение коэффициента  $b$  выбиралось с учётом времени работы скважины и радиуса контура питания.

Система уравнений для нахождения давления и скорости в трещине имеет вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 p_{crack}}{\partial r^2} = -\frac{128k_{soil}}{h^3 r} \left( \frac{\partial p_{matrix}}{\partial \varphi} \Big|_{\varphi=\varphi_{start}} \right) \\ v_{crack} = \frac{h^2}{32\mu} \frac{\partial p_{crack}}{\partial r} \\ p_{crack} \Big|_{r=r_{borehole}} = p_{borehole} \\ \frac{\partial p_{crack}}{\partial r} \Big|_{r=r_{circuit}} = 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

где  $h$  – раскрытие трещины, мм

Система уравнений (1) — (3) решается совместно.

### Численное Решение задачи

Для численного решения поставленной задачи использовался метод конечных разностей. Для системы уравнений (1) — (3) реализована явная конечно-разностная схема ВВЦП [4] первого порядка по времени и второго порядка по пространству на языке программирования С#.

Решение искалось на регулярной неоднородной сетке со сгущением вблизи скважины и трещины (см. рис. 1).

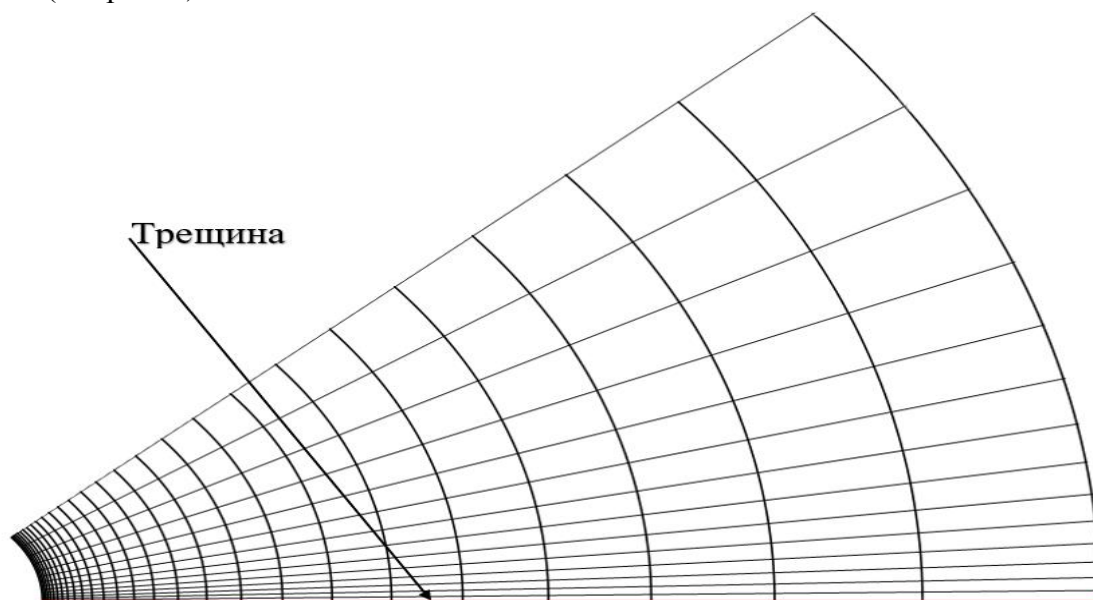
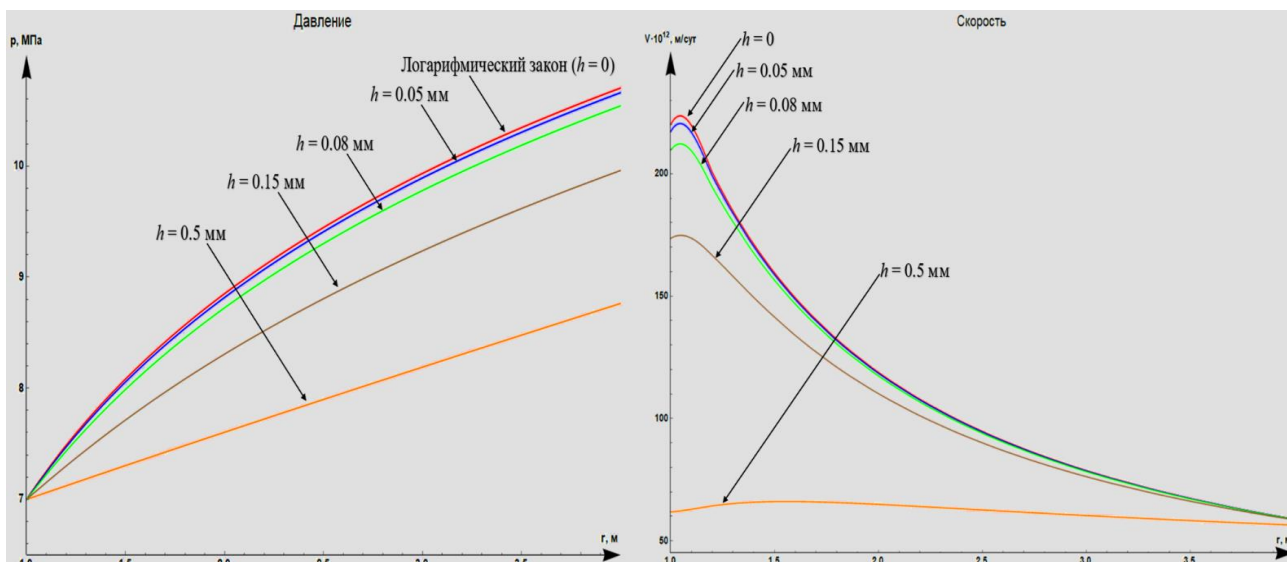


Рис. 1. Схематичный вид сетки

В данной работе представлено численное решение задачи для следующих параметров:  $r_{borehole} = 1$  м,  $r_{circuit} = 20$  м,  $\varphi_{start} = 0^\circ$ ,  $\varphi_{end} = 45^\circ$ ,  $k_{soil} = 0.01$  мкм<sup>2</sup>,  $\mu = 10$  Па·с,  $t_{work} = 50$  сут – время работы скважины. На рис. 2 представлены результаты расчёта для давления и скорости в месте трещины (при  $\varphi = \varphi_{start}$ ) при различных значениях раскрытия трещины.



**Рис. 2. Распределение давления и скорости в месте трещины при различных значениях раскрытия трещины**

Из рис. 2 видно, что, исключая трещину из модели (в этом случае  $h = 0$ ), мы получим логарифмическую зависимость для давления. Так же можно увидеть, что, увеличивая  $h$ , влияние трещины становится всё больше. Это выражается в отхождении распределения давления от логарифмического закона и его приближении к линейному. Линейность закона падения давления в матрице в данном случае обусловлена тем, что определяющим фактором в распределении давления становится течение в трещине, которое в свою очередь приближается к линейному закону Пуазейля.

## ВЫВОДЫ

Построена математическая модель, позволяющая находить распределение как поля давлений, так и поля скоростей в системе «пористый коллектор-трещины» с учётом влияния раскрытия трещин и времени работы скважины.

Данная модель в дальнейшем будет дополнена уравнением теплопереноса в системе «пористый песчаник-трещина» и использована для прогнозирования нефтеотдачи и теплового режима пласта для условий Ярегского месторождения высоковязких нефтей.

## Библиографический список

1. *Голф-Рахт. Т.Д.* Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов — М.: Недра — 1986 — 608 с.
2. *Блонский А. В., Митрушкин Д.А., Савенков Е. Б.* Моделирование течений в дискретной системе трещин: физико-математическая модель // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2017. № 65. 28 с.
3. *Шагиев Р. Г.* Исследование скважин по КВД — М.: Наука — 1998 — 144 с.
4. *Годунов С. К., Рябенкий В. С.* Введение в теорию разностных схем. М.: Физматгиз, 1962.
5. *Дуркин С.М.* Математическая модель скважины, дренирующей трещиновато-пористый коллектор, дисс ... канд. техн. наук — Ухта — 2014 — 151 с.

# MATHEMATICAL MODELLING OF OIL SEEPAGE IN FRACTURED-POROUS OIL RESERVOIR

*Bublik Sergey A., Semin Mikhail A.*

Mining Institute Of The Ural Branch Of The Russian Academy Of Sciences, 78-a, Sibirskaya st., Perm, 614007, Russia, serega-bublik@mail.ru

The oil flow through a fractured-porous oil reservoir caused by decreasing pressure near production well is considered. This study aimed to determine pressure and velocity fields in the oil reservoir. Oil reservoir is represented as flat circular sector with the crack at one of the borders. Polar coordinates are considered. Darcy-Stokes model is applied to obtain the numerical solution. The mathematical model of fluid flow fractured-porous oil reservoir is formulated. The obtained solution numerically using inhomogeneous regular mesh and finite difference method. The system of algebraic equations was solved is using explicit iterative method which was implement at C# programming language. The analysis of crack size influence on pressure and velocity distribution is performed. It is shown that if crack thickness is too small, the pressure is distributed accordingly to logarithmic law. But when crack is increased, the pressure distribution can substantially differ from logarithmic law.

Keywords: fractured porous rock, seepage flow, Darcy's law, numerical modelling, finite difference method.



## ДИНАМИЧЕСКОЕ РАЗВЕРТЫВАНИЕ КРУПНОГАБАРИТНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ИЗ УПАКОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

*Бузмакова Галина Васильевна*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, galina210896@mail.ru

Рассматривается разворачивание крупногабаритной цилиндрической оболочки из упакованного состояния. Целью работы является изучение проблемы динамического развёртывания цилиндрической оболочки под действием внутреннего давления, не превышающего 0,1 - 0,3 атм., изменяющегося по заданному закону. Цилиндрическая оболочка имеет следующие параметры: длина – 100 метров, радиус – 10 метров, ширина стенки 1 сантиметр. Рассматривается оболочка, сделанную из композита с эффективными свойствами: с модулем Юнга равным  $50 \cdot 10^9$  Па и коэффициентом Пуассона равным 0,26, плотностью  $0,83 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Сравниваются перемещения и напряжения оболочки при разворачивании оболочки с различной скоростью. Построение модели и вычисление производиться в пакете ANSYS. Представлен сравнительный анализ перемещения и окружного напряжения от времени при разворачивании при различных случаях нагружения внутренним давлением по линейному закону.

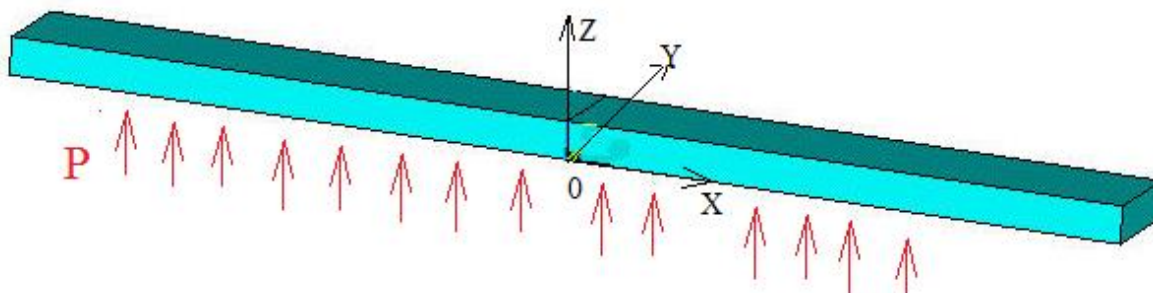
Ключевые слова: Динамическое разворачивание, цилиндрическая оболочка, перемещение, окружное напряжение.

Проблема создания конструкции большого размера в открытом космосе или на другом космическом объекте может быть решена путем использования технологии полимеризации волоконных композитов и жидкого реакционного связующего. Конструкцию (цилиндрическую) из препрега (ткань, пропитанную долговечным полимерным связующим), упаковывают в компактный контейнер и отправляют на орбиту, где его держат сложенным на борту станции. В определенное время оболочку разворачивает в открытом космосе, например, с помощью внутреннего давления. Расчеты показали, что для того чтобы развернуть данную конструкцию, достаточно давление 0,1 – 0,3 атмосферы. После разворачивания инициируется реакция полимеризации связующего, затем. Каркас готов к эксплуатации. После это конструкция может быть оборудована аппаратурой и системами жизнеобеспечения.

Целью настоящей работы является изучение проблемы динамического развёртывания цилиндрической оболочки под действием внутреннего давления, не превышающего 0,1 - 0,3 атм., изменяющегося по заданному закону. Цилиндрическая оболочка имеет следующие параметры: длина – 100 метров, радиус – 10 метров, ширина стенки 1 сантиметр. Рассматривается оболочка, из композита с эффективными свойствами: с модулем Юнга равным  $50 \cdot 10^9$  Па и коэффициентом Пуассона равным 0,26, плотностью  $0,83 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Сравниваются перемещения и напряжения оболочки при разворачивании оболочки под внутренним давлением, увеличивающимся с различной скоростью. Вычисление производиться в пакете ANSYS.

Оболочка в упакованном виде представляет собой две одинаковые прямоугольные пластины, соединенные швами (шарнирами) по образующим цилиндра. При использовании симметрии и регулярности можно выделить для рассмотрения одну полосу (Рис.1) с параметрами: ширина вдоль оси Oz (вдоль оси цилиндра) – 0,05 метров, длина вдоль оси Ox (половина длины окружности цилиндра) – 15 метров, толщина (толщина оболочки) – 0,01 метра. Торцы пластины снабжены шарнирами, позволяющими поворот вдоль оси цилиндра. Растяжением вдоль оси цилиндра будем пренебрегать.

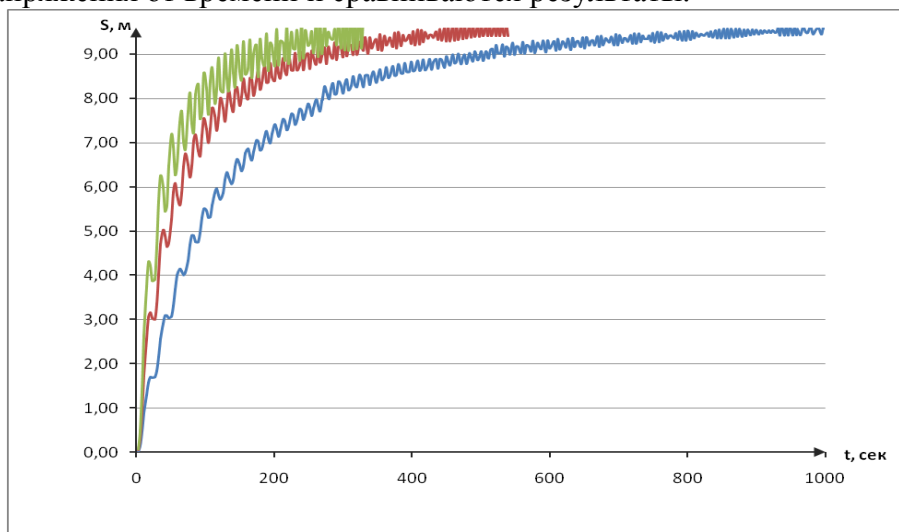


**Рис. 1. Модель упакованной оболочки в пакете ANSYS**

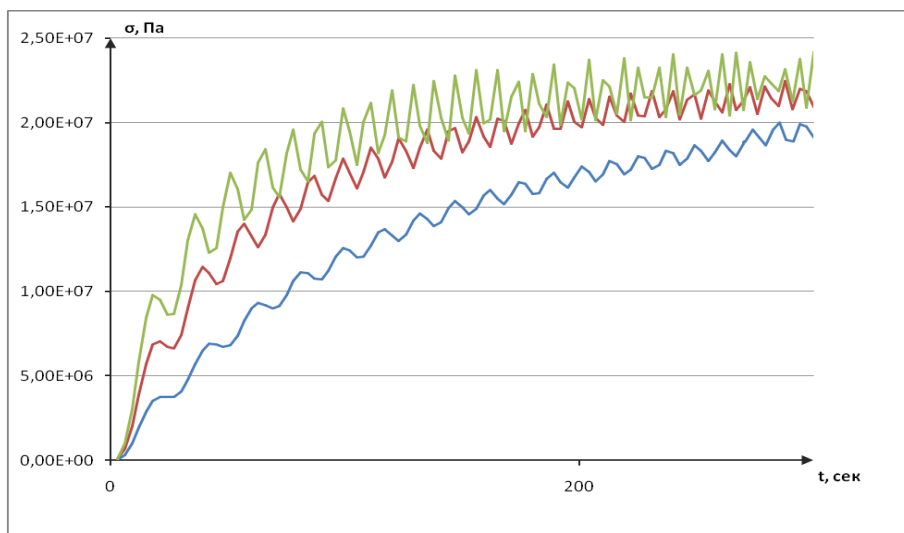
Исследование проводится в пакете ANSYS. Размер конечного элемента и шаг по времени подбирался для удовлетворения необходимой точности вычислений. По передней поверхности пластины ограничивается перемещение вдоль оси Oy, на нижнюю поверхность подается давление P по линейному закону, а в среднем сечении конструкции задаются условия симметрии.

Увеличение давления P продолжается до тех пор, пока радиус оболочки будет равен  $\approx 10$  метров. Рассмотрены три скорости нагружения. Первый – случай нагружения внутренним давлением по линейному закону со скоростью 0,033 Па/с. Оболочку разворачивалась в течении 27 минут 30 секунд (1650 секунд) до радиуса равного 9.81658 метров. Второй случай, когда скорость нагружения давлением выше. Давление подается по линейному закону со скоростью 0,067 Па/с. Оболочка разворачивалась в течении 9 минут (540 секунд) и развернулась до радиуса равного 9,65877 метров. Третий – когда скорость нагружения внутренним давлением по линейному закону равна 0,1 Па/с. Чтоб развернуть оболочку до радиуса 9,88101 метров понадобилось 5 минут 30 секунд (330 секунд).

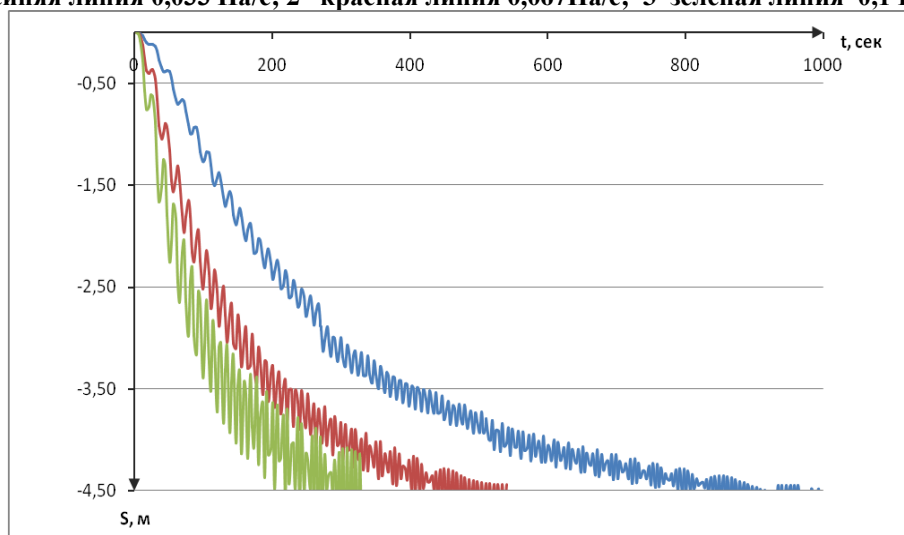
На рисунках, представленных ниже, приводятся зависимости перемещения и окружного напряжения от времени и сравниваются результаты.



**Рис. 2. График перемещения точки центрального сечения при различных вариантах скоростей нагружения: 1–синяя линия 0,033 Па/с; 2– красная линия 0,067Па/с; 3–зеленая линия 0,1 Па/с.**



**Рис. 3. График перемещения точки находящейся на середине рассматриваемой конструкции: 1–синяя линия 0,033 Па/с; 2– красная линия 0,067Па/с; 3–зеленая линия 0,1 Па/с.**



**Рис.4. График перемещения точки, находящейся на шарнире: 1–синяя линия 0,033 Па/с; 2– красная линия 0,067Па/с; 3–зеленая линия 0,1 Па/с**

На рис.2 изображены графики перемещения точки, которая находится на середине рассматриваемой конструкции. Видно, что при различной скорости, колебания происходят с различной частотой. Так же замечается увеличение амплитуды с ростом скорости развертывания. В конце развертывания появляется пульсация амплитуды.

На рис.3 изображены графики изменения окружного напряжения точки центрального сечения. По графикам видно, что среднее напряжение примерно равно  $2 \cdot 10^{10}$  Па. Замечается увеличение амплитуды с ростом скорости развертывания.

На рис.4 изображены графики перемещения точки, которая находится в месте крепления шарнира. По графикам видно, что шарнир при любой скорости развертывания движется неравномерно с колебаниями. Колебания происходят с различной частотой. Чем быстрее развертывание, тем амплитуда колебаний больше, при этом период колебаний почти одинаковый. В финале развертывания появляется пульсация амплитуды.

### Библиографический список

1. Пестренин В.М., Пестренина И.В., Русаков С.В., Кондюрин А.В. Развертывание крупногабаритных оболочечных конструкций внутренним давлением// Механика композитных материалов, Рига.–2015.–Т. 51, №5.–С.889-898.
2. Бельков А.В., Пономарев С.В. Моделирование напряженно-деформированного состояния надувной конструкции космического рефлектора//Вестник Томского государственного университета. Математика и механика.–2008.– №1(12).–С.83–89.
3. Пестренин В.М., Пестренина И.В. Механика композитных материалов и элементов конструкций. – Пермь, Пермский университет, 2005. – 364с.

## DYNAMIC DEPLOYMENT OF LARGE-SIZED CYLINDRICAL SHELL FROM PACKED CONDITION

*Buzmakova Galina V.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, galina210896@mail.ru

The deployment of a large-sized cylindrical shell from a packed state is considered. The aim of the paper is to study the problem of the dynamic deployment of a cylindrical shell under the action of an internal pressure not exceeding 0.1-0.3 atm, varying according to a given law. Cylindrical shell has the following parameters: length - 100 meters, radius - 10 meters, wall width 1 centimeter. We consider a shell made of a composite with effective properties: with Young's modulus equal to Pa and Poisson's ratio equal to 0.26, density  $0.83 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3$ . The displacements and stresses of the shell are compared when the shell is deployed at different speeds. Model building and calculation are performed in the ANSYS package. A comparative analysis of the displacement and circumferential stress versus time is presented in the case of deployment under various cases of loading by internal pressure according to a linear law.

Keywords: dynamic deployment, cylindrical shell, displacement, circumferential stress.

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕНИЕ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ ГРАФЕ ИЗ СТРУН

*Валиуллин Наиль Рафикович*

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614000, Россия,  
г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, nail\_valiyllin@mail.ru

Дифференциальные уравнения на геометрических графах - раздел математики, появившийся сравнительно недавно. Появление этого раздела вызвано возможностью сведения некоторых физических задач, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных, к задачам, описываемых системой обыкновенных дифференциальных уравнений. Такой подход значительно упрощает процесс решения, позволяя перейти от многомерной задачи к одномерной. В данной работе рассматривается дифференциальное уравнение на геометрическом графе, представляющем собой систему из произвольного числа струн, скрепленных в общей точке и жестко закрепленных на концах. Получены аналитические выражения, определяющие профиль прогиба данной системы под действие произвольной нагрузки, в случае произвольного числа струн. Разработана компьютерная программа моделирующая прогиб данной системы.

Ключевые слова: дифференциальное уравнение на геометрических графах, система струн, прогиб.

Возможны два подхода к изучению дифференциальных уравнений на графе: можно рассматривать систему уравнений, а можно рассматривать граф как целостный объект. Второй подход был разработан группой математиков под руководством Ю. В. Покорного [1]. При изучении вопросов о представлении решения эти подходы могут быть объединены.

Рассмотрим систему  $n$  струн, расположенных на плоскости и скрепленных в общей точке. Концы струн жестко закреплены. Каждая  $i$ -ая струна натянута с силой  $T_i$  и на нее действует сила  $f_i$ , направленная перпендикулярно плоскости расположения струн. Определим прогиб  $u$  данной системы.

Данная физическая задача в математическом форме представляется в виде краевой задачи:

$$\begin{cases} (Lu)(t) = f(t) \\ lu = 0 \end{cases} \quad t \in [0,1] \quad (1)$$

где оператор  $L: C_{[0,1]}^2 \rightarrow C_{[0,1]}$  определяет линейное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами;  $t$  – переменная, параметризующая каждую струну,  $t = 0$  соответствует точке закрепления,  $t = 1$  соответствует общей точке скрепления.

$$Lu = (-T_1 u''_1, -T_1 u''_1, \dots, -T_1 u''_1)^T \quad (2)$$

$$f = (f_1, f_2, \dots, f_n)^T \quad (3)$$

$T_i$  - сила натяжения  $i$ -ой струны;  $f_i$  – сила, действующая на  $i$ -ую струну.

$$lu = \text{col}(l_1 u_1, l_1 u_1, \dots, l_1 u_1)$$

$$\begin{aligned}
l_i u &= u_i(0) \quad i = \overline{1, n} \\
l_i u &= u_1(1) - u_{i-n+1}(1) \quad i = \overline{n+1, 2n-1} \\
l_{2n} u &= \sum_{i=1}^n T_i u'_i(1)
\end{aligned} \tag{4}$$

где  $u_i$  - прогиб  $i$ -той струны.

Найдем прогиб:

$$u(t) = \int_0^1 G(t,s) f(s) ds \tag{5}$$

где  $G(t,s)$  - функция Грина исходной задачи.

Для построения функции Грина:

1) Находим ядро оператора  $L$ . Оно представляется в виде системы вектор функций  $\psi_i(t)$ :

$$\psi_{2i-1}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ 1 \quad i\text{-строка} \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} \quad \psi_{2i}(t) = \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ t \quad i\text{-строка} \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix} \quad i = \overline{1, n} \tag{6}$$

2) Построим базис  $h_i \quad i=1,2,\dots,2n$  в  $\text{Ker}(L)$  биортогональный к системе функционалов  $l_i, \quad i=1,2,\dots,2n$ , по следующей зависимости [1, стр. 66]:

$$h_i = \frac{1}{|A|} \begin{vmatrix} 0 & \psi_1 & \psi_2 & \dots & \dots & \dots & \dots & \psi_{2n} \\ \dots & & & & & & & \\ -1 & (i+1\text{-строка}) & A & & & & & \\ \dots & & & & & & & \\ 0 & & & & & & & \end{vmatrix} \tag{7}$$

где  $A$  - матрица размерности  $2n \times 2n, \quad A = (l_i(\psi_j))_{i,j=1}^{2n}$

После подстановки всех исходных данных в зависимость (7), получим следующую систему вектор функций  $h_i \quad i=1,2,\dots,2n$ :

$$\begin{aligned}
h_i(t) &= \begin{pmatrix} \frac{T_i}{\sum_{j=1}^n T_j} t \\ \dots \\ 1 - \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n T_j}{\sum_{j=1}^n T_j} t \quad (i\text{-строка}) \\ \dots \\ \frac{T_i}{\sum_{j=1}^n T_j} t \end{pmatrix} \quad i = \overline{1, n} \\
h_i(t) &= \begin{pmatrix} \frac{T_{i-n+1}}{\sum_{j=1}^n T_j} t \\ \dots \\ -\frac{\sum_{j=1, j \neq i-n+1}^n T_j}{\sum_{j=1}^n T_j} t \quad (i-n+1\text{-строка}) \\ \dots \\ \frac{T_{i-n+1}}{\sum_{j=1}^n T_j} t \end{pmatrix} \quad i = \overline{n+1, 2n-1}
\end{aligned} \tag{8}$$

$$h_{2n}(t) = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sum_{j=1}^n T_j} t \\ \dots \\ \frac{1}{\sum_{j=1}^n T_j} t \end{pmatrix} \quad (9)$$

3) Построим фундаментальное решение  $H(t,s)$  уравнения  $Lu = f$ , то есть найдем такую матричную функцию  $H(t,s)$ , что вектор функция:

$$z(t) = \int_0^1 H(t,s)f(s)ds \quad (10)$$

есть решение  $Lu = f$  при любой вектор функции  $f$  непрерывной на  $(0,1)$ .

Фундаментальное решение  $H(t,s)$  представляется в следующем виде [1, стр. 69]:

$$H(t,s) = \begin{pmatrix} \frac{1 + \text{sign}(t-s)}{-2T_1} (t-s) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \frac{1 + \text{sign}(t-s)}{-2T_2} (t-s) & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \frac{1 + \text{sign}(t-s)}{-2T_n} (t-s) \end{pmatrix}$$

Используя фундаментальное решение  $H(t,s)$  и базис  $h_i$ , можно записать функцию Грина, которая примет следующий вид [1, стр. 69]:

$$G(t,s) = H(t,s) - \sum_{i=1}^{2n} l_i(H(\bullet, s))h_i(t) \quad (11)$$

подставляя в зависимость (5) получим:

$$u(t) = \int_0^1 H(t,s)f(s)ds - \sum_{i=1}^{2n} l_i(\int_0^1 H(t,s)f(s)ds)h_i(t) \quad (12)$$

После упрощений, решение задачи выражается в виде следующей зависимости:

$$u_i(t) = \int_0^1 \frac{(s-t)}{T_i} f_i(s)ds - \left( \int_0^1 \left( \frac{f_i(s)}{T_i} \left( s \sum_{j=1, j \neq i}^n T_j - \sum_{j=1}^n T_j \right) - s \sum_{j=1, j \neq i}^n f_j(s) \right) ds \right) \quad i = \overline{1, n}$$

На основе полученных зависимостей было разработано приложение. Пример работы приложения для системы из 4 струн представлен на рис. 1. Справка по работе приложение приведена на рис. 2.

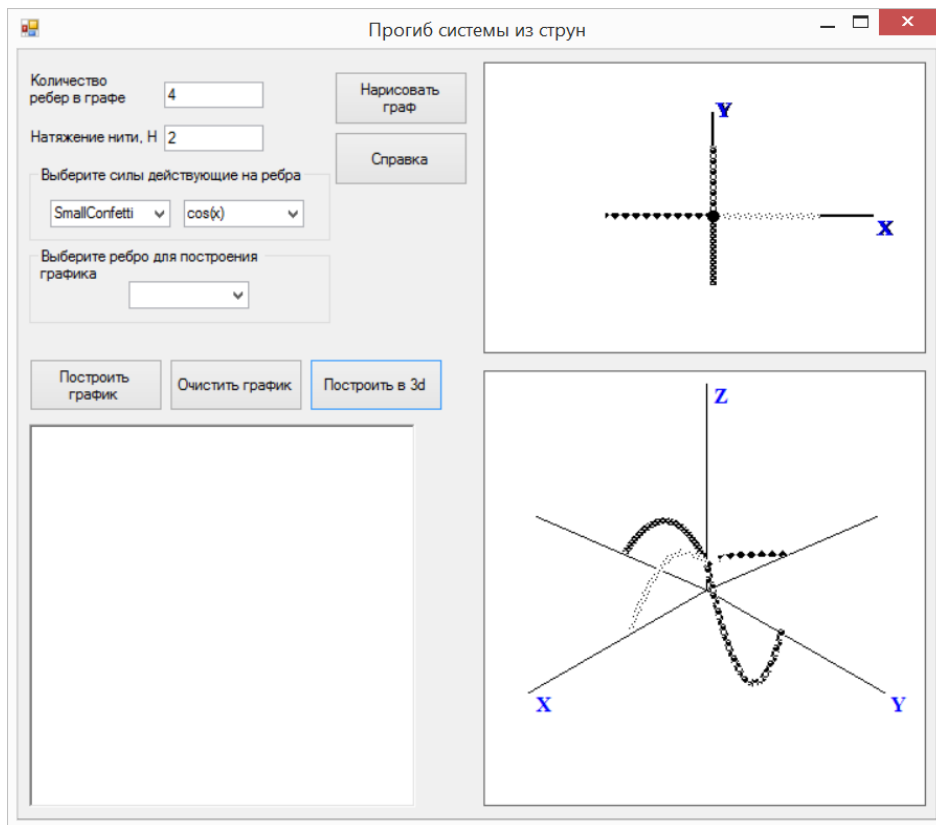


Рис. 1 Приложение «Прогиб системы из струн»

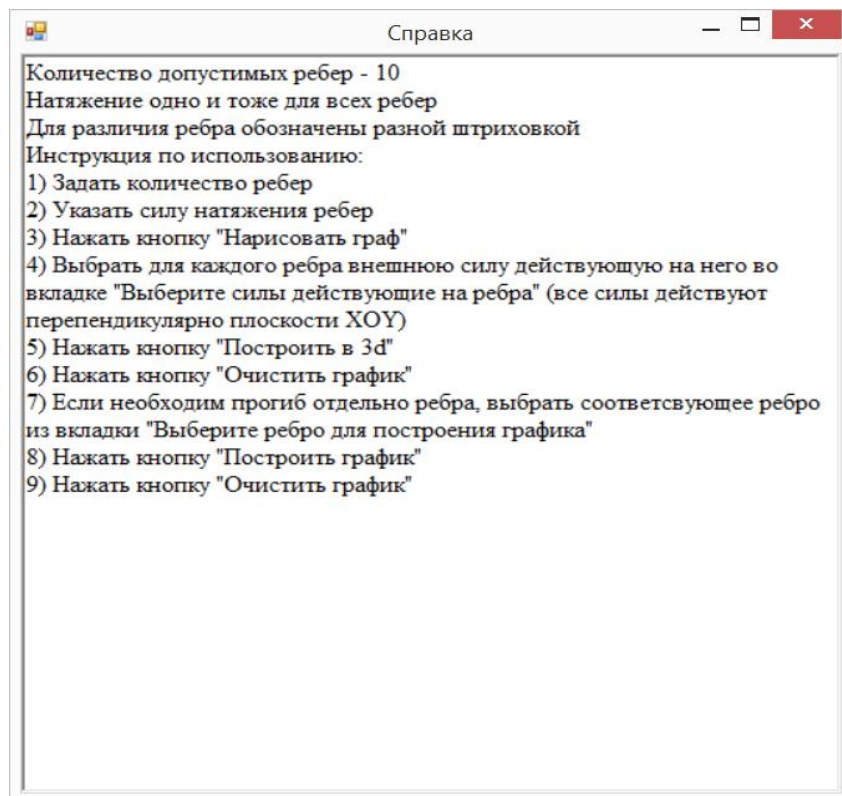


Рис. 2 Справка по работе приложения

### Библиографический список

1. Покорный Ю. В. Дифференциальные уравнения на геометрических графах. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005 - 272 с.



## DIFFERENTIAL EQUATION ON A GEOMETRIC GRAPH FROM THE STRINGS

*Valiullin Nail R.*

Perm National Research Politechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614000,  
nail\_valiullin@mail.ru

Differential equations on geometric graphs are a branch of mathematics that has appeared relatively recently. The appearance of this section is caused by the possibility of reducing the physical problems described by partial differential equations to problems described by a system of ordinary differential equations. This approach greatly simplifies the decision process, allowing you to move from a multidimensional problem to a one-dimensional one. In this paper we consider a differential equation on a geometric graph representing a system of an arbitrary number of strings attached at a common point. Analytic expressions are obtained that determine the profile of the deflection of a given system under the action of an arbitrary load. A computer program has been developed simulating the deflection of this system.

Keywords: differential equation on geometric graphs, string system, deflection.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВИНТОВОГО ЗАБОЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ В СТАЦИОНАРНОМ ДВИЖЕНИИ

*Добрынина Алёна Константиновна*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, alyona\_0101@mail.ru

Рассматривается динамическое равновесие (стационарное состояние) винтового забойного двигателя (ВЗД) при постоянно приложенной нагрузке. Возле этого состояния происходят различного вида колебания. В качестве объекта исследования взяты реальные двигатели с соотношением зубьев ротора и статора 4/5 и 7/8. Целью данного исследования является: выявление опасных напряжений, возникающих в двигателе, определение влияния заходности двигателя и величины осевой нагрузки на прочность конструкции. В среде ANSYS двигатель моделируется стержнями кусочно-постоянного сечения, которые соединяются посредством шарниров, а реакция со стороны стенок - пружинами. С использованием усталостного критерия прочности Dang Van и данных полученных из инженерного пакета определяется запас прочности конструкции. Представлен сравнительный анализ результатов при изменении приложенной нагрузки и заходности двигателя. Рассмотрены эпюры возникающих в двигателе напряжений.

Ключевые слова: винтовой забойный двигатель, усталостное разрушение материала, опасные напряжения.

**Введение.** Винтовой двигатель – это разновидность забойной гидравлической машины, в которой для преобразования энергии потока промывочной жидкости в механическую энергию вращательного движения использован винтовой механизм. Прежде, чем внедрять конструкцию двигателя в массовое производство и использовать при бурении скважин, необходимо провести анализ, из которого было бы видно, как поведёт себя двигатель при различных условиях работы. Первым шагом анализа является выявление опасных напряжений двигателя, возникающих в стационарном состоянии и вычисление запаса прочности. [1]

**Критерий оценки прочности.** При работе винтового забойного двигателя (ВЗД) возникает сложное напряженное состояние. Это объясняется постоянным изменением нагрузок и их знаков, действующих на детали ВЗД. Конструкция, работающая в данных условиях, разрушается при нагрузках меньше тех, которые опасны при постоянных напряжениях.

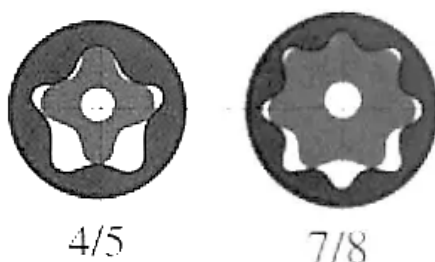
Усталостное разрушение материала (разрушение материала в условиях циклически изменяющихся деформаций и напряжений) не всегда приводит к поломкам детали, также возможно появление усталостных трещин. Поскольку структура всех материалов не однородная, на некоторых границах и вблизи микроскопических пустот и различных дефектов детали возникает концентрация напряжений, приводящая к появлению микротрещин, которые до определенных размеров незначительно снижают работоспособность изделия, но в дальнейшем опасность представляет в основном возможность их быстрого роста, приводящая к снижению несущей способности конструкции.

В качестве критерия для оценки прочности будем использовать критерий Dang Van. [3] Согласно критерию, основным механизмом появления усталостной трещины является наибольший сдвиг в самой неблагоприятно расположенной кристаллографической плоскости.

$$\tau(t) + a\sigma(t) \leq b \quad (1)$$

где  $\tau$  – максимальные напряжения на сдвиг,  $\sigma$  – максимальные объемные напряжения  
Константы вычисляются из двух экспериментов при простом нагружении.

**Постановка задачи.** Винтовой забойный двигатель (ВЗД) состоит из четырёх взаимодействующих между собой частей – статор, ротор, карданный вал и оканчивающийся долотом шпиндель. Ротор, карданный вал и шпиндель образуют «систему ротора». В данной работе будет использоваться соотношение зубьев ротора и статора 4/5 и 7/8.(рис.1)



**Рис. 1 Роторы: 4/5 и 7/8**

Важной особенностью ВЗД является смещение оси ротора относительно оси статора на величину эксцентриситета ( $\epsilon$ ). В нашей задаче  $\epsilon = 0,006$  м. В результате данного смещения во время работы двигателя возникают силы инерции, которые стремятся отклонить как двигатель, так и примыкающую колонну от оси скважины. Именно поэтому продольные, изгибные и крутильные колебания реализуются не в окрестности состояния статического равновесия двигателя, а в окрестности динамического равновесия (стационарное состояние).

Каждая из частей двигателя моделируется стержнями кусочно-постоянного сечения. Карданный вал соединяется с ротором и шпинделем посредством шарниров, которые в свою очередь передают осевое усилие, все перемещения и крутящий момент во время вращения вала. Взаимодействие между статором и другими частями конструкции описывается упругими элементами, жёстко-радиальными и упорными в продольном направлении связями. Принимается, что двигатель находится в вертикальном положении и при своем движении не контактирует со стенками скважины. Карданный вал соединяется с ротором и шпинделем шарнирами, передающими осевое и поперечное усилие, а также крутящий момент. Взаимодействие между статором и другими частями конструкции описывается упругими элементами, жестко-радиальными (в которых перемещения по  $x$  и  $y$  совпадают) и опорными в продольном направлении связями. На верхнее положение ВЗД крепятся утяжеленные бурильные трубы (УБТ), затем БТ. Как только двигатель погружается на глубину, крепится новая БТ, всё это продолжается до тех пор, пока не будет достигнута цель – пробуренная скважина. Данные трубы моделируются воздействием силы ( $P_i$ ). Резиновую вкладку между ротором и статором двигателя заменяем пружинами. Параметры жёсткости пружин: для двигателя  $10^{10}$ , для 1 и 2 центраторов  $10^8$ , параметр для внешнего растяжения  $10^8$  и  $10^9$  и параметр на внешнее кручение  $10^8$  и  $10^9$ . [2]

**Оценка запаса прочности.** Как было сказано ранее, рассматриваются два ВЗД с соотношением зубьев ротора и статора 4/5 и 7/8. Каждому из двигателей задаётся нагрузка в 5 тонн и 20 тонн. Далее исследуется влияние заходности и нагрузки на прочность ВЗД.

Оценка запаса прочности ищется согласно критерию Dang Van (1). Используются вычисленные для стали экспериментальным путём неизвестные константы а и b а = 0.345, Выбирается сталь с пределом прочности на растяжение равным UTS=1400 МПа, тогда с учётом этого b = 0.28 UTS = 392 МПа. В качестве  $\tau(t)$

$$\tau_{\max} = \frac{M_z}{I_z} \rho_{\max} = \frac{M_z}{2I_{p/d}} = \frac{M_z}{W_p} \quad (2)$$

где  $W_p = \frac{\pi d^3}{16}$  – для стержня круглого поперечного сечения,  $W_p = \frac{\pi D^3(1-\alpha^4)}{16}$ ,  $\alpha = \frac{d}{D}$  – для полого вала, имеющего внутреннее сопротивление.  $\sigma(t)$  считается как:

$$\sigma(t) = \sigma_z + |\max(\sigma_x; \sigma_y)| \quad (3)$$

Значения напряжений при растяжении и сжатии ( $a_z$ ), а также изгибе ( $a_x; a_y$ ) и повороте ( $M_z$ ) получаются при решении задачи в пакете ANSYS. Согласно критерию Dang Van, находится запас прочности для ВЗД, как  $k = \frac{b}{\tau(t) + a\sigma(t)}$ . Стоит отметить, что для обыкновенных конструкций  $k=1.5 \div 2.0$ , а для особо важных сооружений может доходить до 30 (атомные реакторы, плотины ГЭС). В таблице 1 представлены участки конструкции с наименьшим значением запаса прочности.

Таблица 1: Наименьший запас прочности ротора ВЗД

Заходность	4/5		7/8	
	5т	20т	5т	20т
Нагрузка на долото				
Линия	7	6	10	7
Сечение	4	4	7	4
Узел	39, 40, 41	31, 32	51-69	39, 40, 41
Запас прочности	4.81	4.73, 4.76	1.95	3.30

Сравним, как влияет изменение значения приложенной нагрузки на ротор двигателя с заходностью 7/8. Из полученных значений выбирается наименьший запас прочности при 5 и 20 тоннах. Опасные сечения в обоих случаях принадлежат нижней части двигателя.  $k_{5т} = 1.95; k_{20т} = 3.30$

Аналогично сравнивается запас прочности, но уже для двигателя с заходностью 4/5. Вид сечения остаётся неизменным. При соотношении зубьев ротора и статора 4/5 и разной нагрузке положение опасного сечения в данном случае переходит с нижней осевой опоры при 4/5 на нижнюю радиальную опору. Почти неизменным остаётся и значение запаса:  $k_{5т} = 4.81; k_{20т} = 4.73$

Далее рассматривается ротор при равной нагрузке 5 тонн (см. табл. 2) и разной заходности. Положение опасного сечения на двигателе на заходности 4/5 – нижняя радиальная опора. При ВЗД 7/8 опасные места шарниры кардан-двигатель и кардан-шпindel. Заметим, что запас прочности у ВЗД с заходностью 7/8  $k_{7/8} = 1.95$ , меньше более, чем в два раза запаса для 4/5 при той же нагрузке  $k_{4/5} = 4.81$ .

Аналогично при нагрузке 20 тонн. Сечение, соответствующее наименьшему запасу прочности осталось неизменным для двигателей разной заходности. Как и при нагрузке 5 тонн, значение для соотношения зубьев 7/8 ниже, чем 4/5.  $k_{4/5} = 4.73; k_{7/8} = 3.30$ .

Для статора ВЗД стоит отметить высокий запас прочности во всех рассмотренных вариантах. Наименьший из запасов прочности для статора возникает при нагрузке 5 тонн и заходности 4/5 и равен  $k=7.38$ .

Таблица 2: Эпюры осевых напряжений (Па) и крутящего момента (Нм) ротора ВЗД

Растяжение/сжатие		Суммарный изгиб		Кручение	
4/5 5 т	7/8 5 т	4/5 5 т	7/8 5 т	4/5 5 т	7/8 5 т
<ul style="list-style-type: none"> <li>-.286E+08</li> <li>-.255E+08</li> <li>-.224E+08</li> <li>-.193E+08</li> <li>-.162E+08</li> <li>-.131E+08</li> <li>-.998E+07</li> <li>-.688E+07</li> <li>-.378E+07</li> <li>-686368</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-.330E+08</li> <li>-.294E+08</li> <li>-.258E+08</li> <li>-.222E+08</li> <li>-.186E+08</li> <li>-.114E+08</li> <li>-.779E+07</li> <li>-.419E+07</li> <li>-578221</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-.357E+08</li> <li>-.230E+08</li> <li>-.103E+08</li> <li>-.245E+07</li> <li>.152E+08</li> <li>.279E+08</li> <li>.406E+08</li> <li>.534E+08</li> <li>.661E+08</li> <li>.788E+08</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-.116E+08</li> <li>-.747E+07</li> <li>-.397E+07</li> <li>723561</li> <li>.482E+07</li> <li>.891E+07</li> <li>.130E+08</li> <li>.171E+08</li> <li>.212E+08</li> <li>.253E+08</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-10000.5</li> <li>-8889.33</li> <li>-7778.17</li> <li>-6667</li> <li>-5555.83</li> <li>-4444.67</li> <li>-3333.5</li> <li>-2222.33</li> <li>-1111.17</li> <li>.207E-09</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-14986</li> <li>-13320.9</li> <li>-11655.6</li> <li>-9990.67</li> <li>-8325.56</li> <li>-4995.33</li> <li>-3330.22</li> <li>-1665.11</li> <li>..206E-09</li> </ul>

**Вывод.** Построена модель ВЗД в инженерной среде ANSYS, найден запас прочности для конструкции при различных вариантах заходности и нагрузки. Проверочный расчет двигателя показал, что он спроектирован разумно.

### Библиографический список

1. Забойные винтовые двигатели для бурения скважин / М.Т. Гусман, Д.Ф. Балденко, А.М. Кочнев, С.С. Никомаров – М.: НЕДРА, 1981.– 430 с.
2. Лебедев Н.Ф. Динамика гидравлических забойных двигателей. – М.: НЕДРА, 1981. – 251 с.
3. Критерии оценки многоцикловой механической выносливости при сложном напряженном состоянии / Щепакин Е. О. – Молодой ученый №21, 2017.— 163 с.

### STRESSED STATE INVESTIGATION OF A POSITIVE DISPLACEMENT MOTORS IN A STATIONARY REGIME

*Dobrynina Alyona K.*

Perm State University, Bukireva, 15, Perm, 614990, Russia, alyona\_0101@mail.ru

Dynamic equilibrium (stationary state) of a positive displacement motors (PDM) is considered with a constantly applied load. Near this state, a different type of oscillation occurs. As the object of research, real motors with a ratio of rotor and stator teeth of 4/5 and 7/8 are taken. The purpose of this study is: to identify the dangerous stresses that occur in the engine, to determine the effect of engine overrun and the value of the applied load on the strength of the structure. In the ANSYS environment, the motor is modeled by pivots of a piece-constant section, which are connected by means of hinges, and the reaction from the sides by springs. Using the fatigue strength criterion of Dang Van and the data obtained from the engineering package, the safety factor of the structure is determined. A comparative analysis of the results is presented when changing the applied load and engine starting. The diagrams of the stresses arising in the motor are considered.

Keywords: screw downhole motor, fatigue destruction of material, dangerous stresses.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УРОВНЯ ПРОДАЖ ЗА СЧЕТ ОПТИМИЗАЦИИ ТИПОВОГО БИЗНЕС-ПРОЦЕССА

*Иванов Евгений Андреевич*

Тюменский Государственный Университет, 625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 6,  
iea@diocon.ru

*Григорьева Инна Ивановна*

Тюменский Государственный Университет, 625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 6,  
i.i.grigoreva@utmn.ru

Компании, приобретающие программный продукт, получают не только программное обеспечение, но и встроенный набор функций, обработок и данных. Данный набор описывает типовые решения, которые могут быть не применимы для решения задач на конкретном предприятии. Встроенные бизнес-процессы в типовом решении не способны полностью отразить индивидуальные процессы предприятия. Следовательно, предприятие получает либо ложную информацию о протекающих процессах в компании, либо не получают никакой информации. Тогда возникает необходимость в доработке типовых бизнес-процессов или в разработке совершенно новых бизнес-процессов. Правильно разработанный бизнес-процесс продаж, позволит контролировать выполнение каждого этапа продажи и накапливать по ним данные. Накопленные данные можно представить в виде воронки продаж, где каждый уровень воронки продаж соответствует этапу бизнес-процесса продажи. Полученная воронка продаж позволит отразить улучшение бизнес-процесса, проанализировать результаты работы исполнителей и оптимизировать процесс принятия управленческих решений в части стратегии взаимодействия с клиентами.

Ключевые слова: бизнес-процесс, воронка продаж, типовые решения.

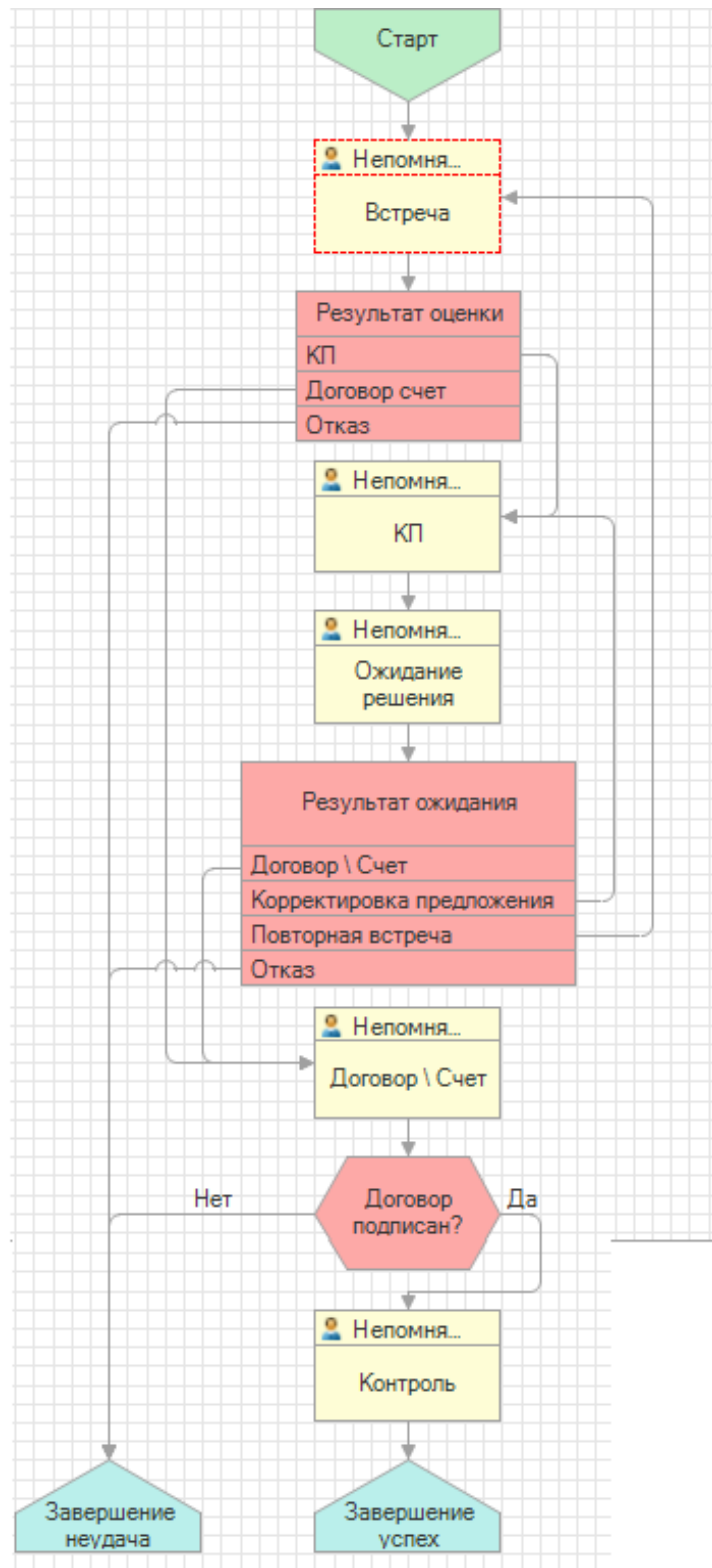
### **Описание бизнес-процесса продаж**

Бизнес-процессы предназначены для объединения отдельных операций в цепочки взаимосвязанных действий [1], приводящих к достижению определенной цели и описываются маршрутной картой, отражающей основные этапы его выполнения. Цепочки взаимосвязанных действий бизнес-процесса представляются с помощью карты маршрута бизнес-процесса. Карта маршрута описывает логику бизнес-процесса и весь его жизненный цикл, от точки старта до точки завершения, в виде схематического изображения последовательности взаимосвязанных точек маршрута.

Бизнес-процессы позволяют формализовать процедуры обработки мероприятий, возникающих в деятельности организации, и обеспечить участие в них исполнителей.

Применение механизма бизнес-процессов дает возможность перейти к процессному управлению и качественно улучшить деятельность предприятия за счет реинжиниринга и автоматизации бизнес-процессов.

В типовое решение 1С:CRM (редакции 3.0) включен бизнес-процесс «Продажа»(рис. 1).



**Рис. 1. Типовой бизнес-процесс продажи**

Встроенный бизнес-процесс «Продажа» не удовлетворяет требованиям компании, т.к. компания занимается не только продажами программных продуктов, но и сопровождением программных продуктов. Данный бизнес-процесс не позволяет оценить количество предложений сопровождений программных продуктов, т.к. этого этапа нет в типовом бизнес-процессе.

Для решения данной проблемы необходимо переработать типовой бизнес-процесс продажи (рис. 2).

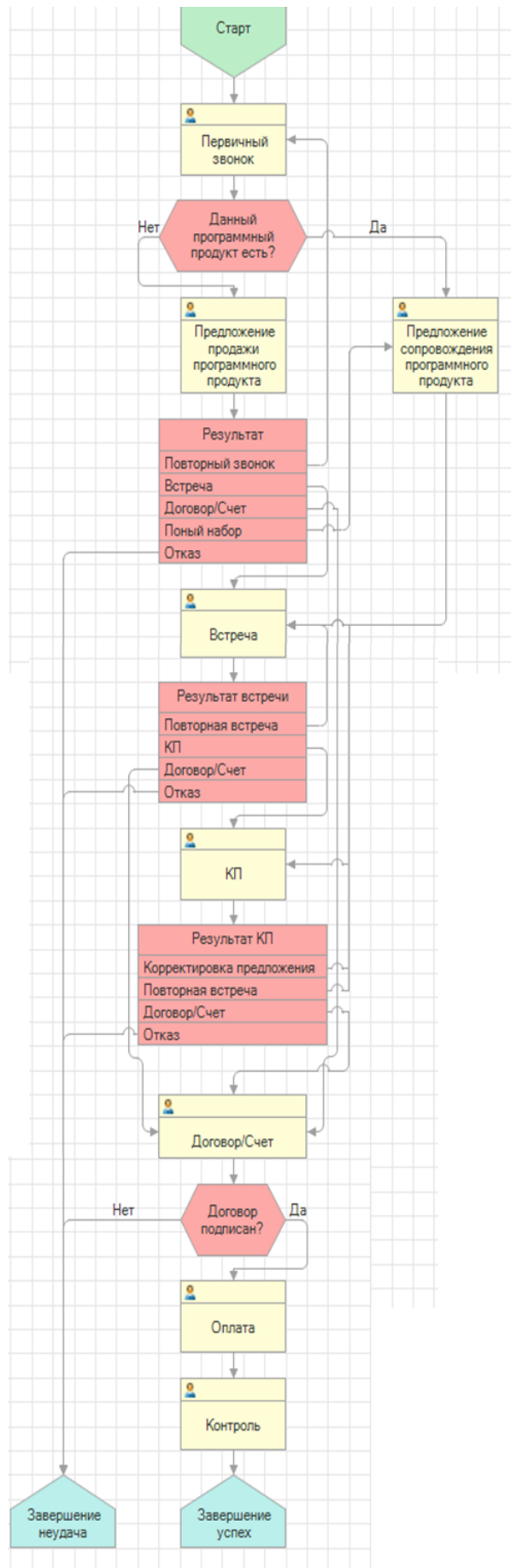


Рис. 2. Оптимизированный бизнес-процесс



Система позволяет прикреплять к бизнес-процессу интерес клиента. На основе бизнес-процесса создаются задачи исполнителю данного этапа, которые необходимо выполнить для завершения этапа продаж. Так же предоставляет возможность построения воронки продаж по данному бизнес-процессу. Воронка продаж показывает количество клиентов, на разных этапах продаж, а также рассчитывает показатель конверсии.

### Воронка продаж

Обработка «Воронка продаж» предназначена для анализа интересов клиентов и продаж в целом. Является ключевым инструментом оперативного анализа продаж компании и позволяет представить картину, отражающую деятельность менеджеров, направленную на реализацию товаров и услуг, а также способствует оперативному получению информации о состоянии дел компании по продажам, начиная от проявленного клиентом интереса и заканчивается этапом завершения продажи (рис. 3).

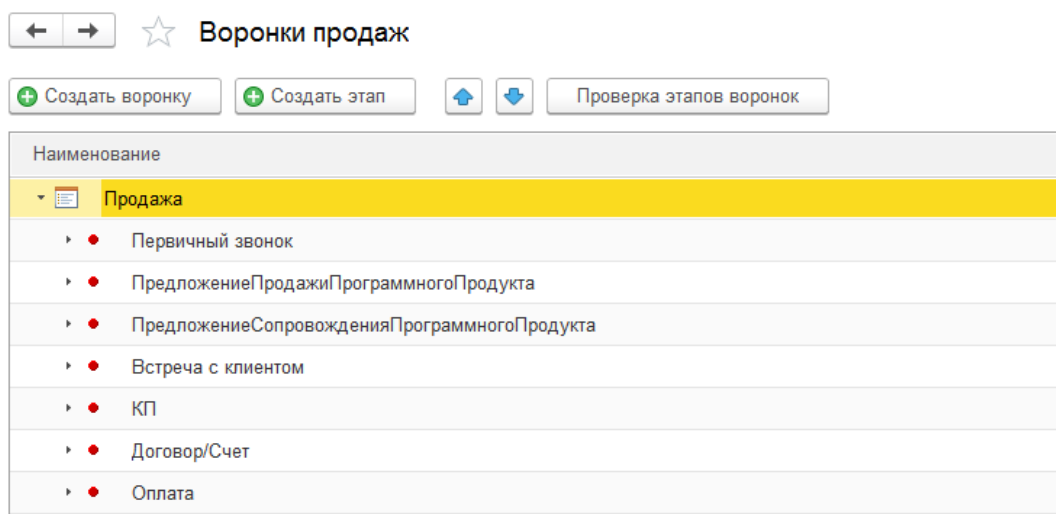


Рис. 3. Этапы воронки продаж

В качестве источника информации для анализа выступают этапы бизнес-процесса продажи (рис. 4).

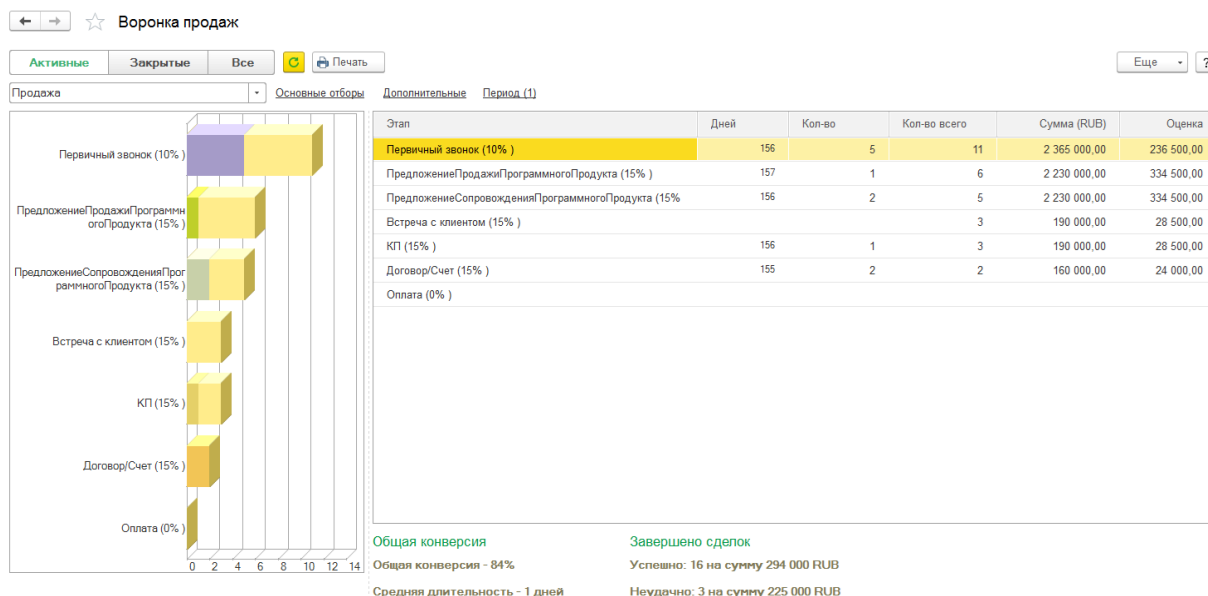


Рис. 4. Воронка продаж

На форме воронки продаж отображается общий показатель конверсии. Конверсия воронки продаж является отношением успешно завершенных сделок к общему количеству завершенных сделок, за период анализа воронки продаж[1]. Таким образом, конверсия является показателем эффективности проведения сделок менеджерами по продажам. Чем выше конверсия, тем выше эффективность сделок.

Также конверсия рассчитывается по каждому этапу воронки продаж и отражает эффективность обработки сделки на конкретном этапе. Наибольшая разница конверсии между соседними этапами показывает наличие проблемы в процессе работы со сделками, которая больше всего влияет на эффективность проведения сделки в целом. Таким образом, на конкретном этапе следует внимательно проанализировать причины отказа клиентов от продолжения сделок и принять управленческое решение. Конверсия этапа воронки продаж рассчитывается аналогично общему показателю, но только по данным этого этапа.

Обработка «Воронка продаж» позволяет не только оценить работу менеджеров на каждом этапе, но и позволяет руководителю найти слабые места в системе при продаже. С помощью коэффициента общего показателя конверсии можно сделать выводы о эффективности работы персонала.

### **Библиографический список**

1. *Москва фирма «1С»*: 1С Предприятие 8.Конфигурация «1С:CRM» редакции (3.0), 2016.
2. ГОСТ Р ИСО 9000-200X «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь».

### **INCREASE IN EFFICIENCY OF SALES LEVEL DUE TO OPTIMIZATION OF STANDARD BUSINESS PROCESS**

*Ivanov Evgenii A.*

University of Tyumen, 6, Volodarsky's st., Perm, 625003, Russia, [iea@diocon.ru](mailto:iea@diocon.ru)

Companies that purchase software, not only software itself, but also integrated set of functions, utilities and data. This set describes typical solutions, that may not be applicable for tasks of a certain company. Integrated business-processes of a typical solution can not reflect fully the individual enterprise's processes. Thus, the company either gets false information about its processes flow or gets nothing. Then appears a need for customization of typical business-processes or in development of entirely new ones. Properly developed business-process of sales, allows to control the completion of each stage of a sell and collect corresponding data. That data can be presented as a sales funnel, where each level can represent improvements of business-process, analyze the employees work results and optimize the process of taking control decisions in a field of client interaction strategy.

Keywords: business process, sales funnel, standard solutions.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ СТАЛИ 45 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Климов Никита Андреевич, Колмогоров Герман Леонидович*

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет,  
Комсомольский Пр. 29, Пермь, Россия, 614000, nikita-kl@yandex.ru

В статье рассматривается термоупругое состояние осесимметричного тела при наличии градиента температуры за счет нагрева контактного слоя во время процесса резания. В частности, была оценена возможность термопластической деформации в поверхностном слое и возможность образования остаточных напряжений при последующем охлаждении. Для стальных деталей были определены предельные температурные режимы, приводящие к сжимающим или растягивающим остаточным напряжениям. Кроме того, в работе представлена конкретная реализация расчета максимальной скорости резания, превышение которой, может быть причиной чрезмерного нагрева обрабатываемой цилиндрической заготовки и остаточных напряжений, что может существенно повлиять на надежность обработанной детали. Благодаря использованию метода конечных элементов представляется возможным получить распределение полей температур по всей толщине детали.

Ключевые слова: остаточные напряжения, механическая обработка, термоупругое состояние, температура, контактный слой, скорость резания, конечно-элементное моделирование, ANSYS.

### **Введение**

Механическая обработка резанием может быть причиной остаточных напряжений (далее – ОН) которые значительно влияют на качество металлоизделий.

Одной из причин формирования ОН в процессе резания является температурное поле, которое возникает из-за действия сил трения на небольшой контактной площадке между инструментом и обрабатываемой деталью.

ОН в поверхностном слое определяют качество поверхности и точность обрабатываемых деталей [4, 5]. При этом основным фактором, влияющим на формирование поверхностного слоя, является скорость резания [3].

ОН, действующие на поверхностные слои, влияют на прочность всей детали.

Для деталей с малой жесткостью ОН могут привести к короблению деталей и изменению их геометрии, что является критически важным при изготовлении деталей для космической, атомной и нефтегазовой отраслей.

Для деталей с высокой жесткостью ОН могут быть причиной микротрещин, их последующего их роста до макротрещин, и в некоторых случаях разрушение деталей.

Качество поверхностного слоя деталей машин характеризуется многими технологическими факторами, в том числе величиной и знаком ОН.

Известно, что ОН сжатия повышают прочность деталей машин, тогда как ОН растяжения понижают прочность и могут привести к разрушению поверхностного слоя [6, 7].

### Зависимость температуры от скорости резания

Одной из основных причин появления ОН в процессе механической обработки является разогрев поверхностного слоя обрабатываемой детали за счет выделения тепла в зоне контакта технологического инструмента и детали.

При значительном разогреве в обрабатываемой детали возникают термоупругие напряжения, кроме того при определенных градиентах температуры возможно появление термопластических деформаций.

Последующее охлаждение обрабатываемых изделий приводит к образованию ОН в поверхностном обработанном слое, которые во многом определяют качество изделий.

Научные работы, направленные на установление взаимосвязи между процессом резания и ОН, носят противоречивый характер о знаке и величине последних.

Сложности процесса экспериментального определения ОН не позволяют прогнозировать их влияние на эксплуатационные характеристики изделий.

За последние несколько десятилетий конечно-элементное моделирование процесса резания металла стало одним из основных исследовательских инструментов в данной области. Метод конечных элементов использовался для анализа усилий резания [8], температуры резания [9], ОН [10], износа инструмента [11], трибологии [12] и процесса формирования стружки при механической обработке металла.

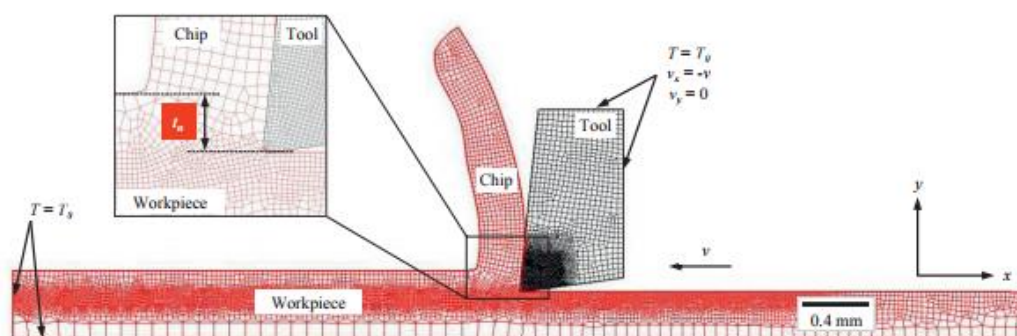
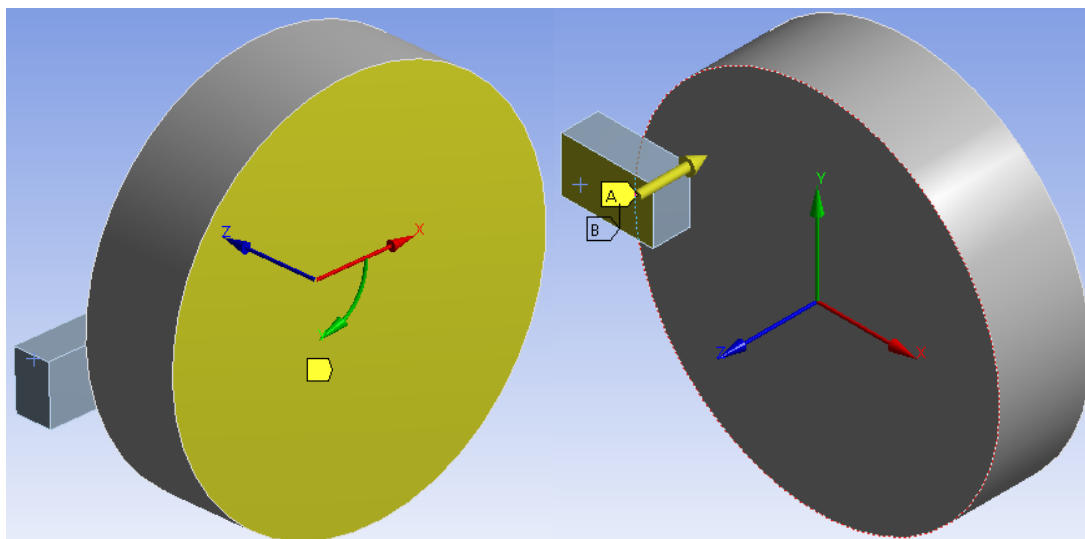


Рис. 1. Типичная модель процесса резания

Типичная конечно-элементная модель процесса резания показана на рис. 1. Следует отметить, что недостатками данной модели являются ее двумерная постановка и неприменимость к цилиндрическим образцам.

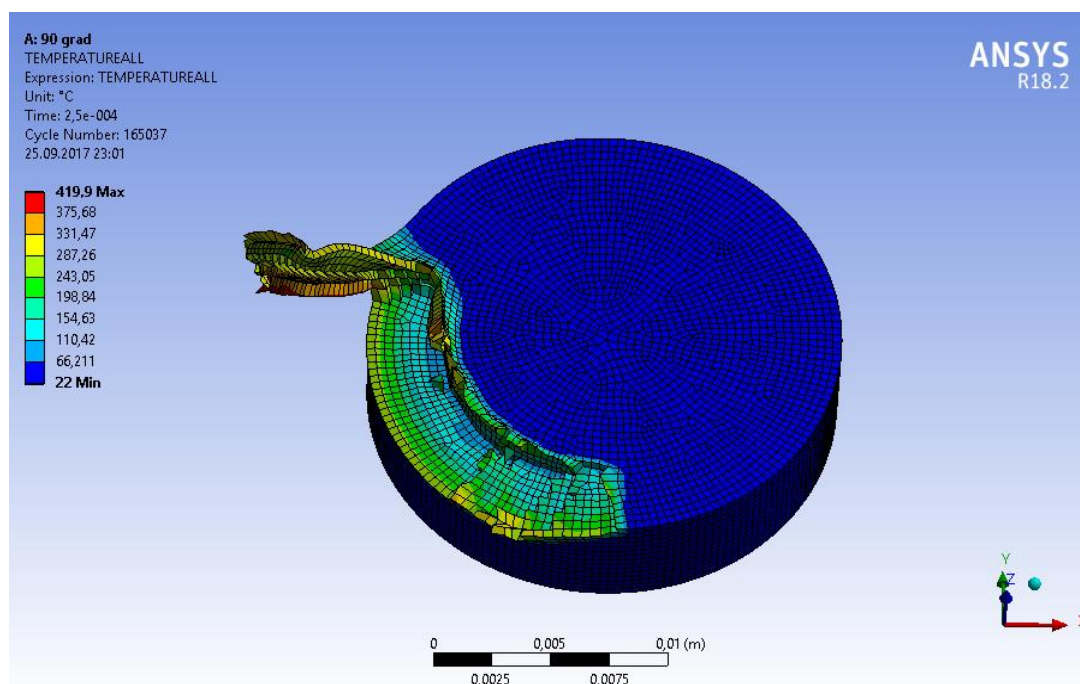
Авторы данной статьи разработали математическую модель лишенную этих недостатков. Оценка термоупругого состояния и возможности появления пластических деформаций в поверхностном слое цилиндрической осесимметричной заготовки была выполнена с помощью конечно-элементного пакета ANSYS Workbench 18.2.

Используемая при моделировании модель, начальные и граничные условия, системы координат принятые при построении модели представлены на рис. 2.



**Рис. 2. Модель, начальные и граничные условия, системы координат, используемые при моделировании**  
 Обрабатываемая заготовка вращается с постоянной угловой скоростью. Инструмент за время обработки перемещается на 1 мм в направлении, указанном стрелкой «А» на рисунке 2.

Пример распределения температурных полей, полученных в результате моделирования, представлен на рис. 3. Так максимальная температура при скорости резания 3769 м/мин 420°C



**Рис. 3. Пример распределения полей температуры при скорости резания 3769 м/мин**

Проведя серию численных экспериментов, представляется возможным построить зависимость температуры от скорости резания (далее – СР), представленную на рис. 4.



**Рис. 4. Зависимость температуры от скорости резания**

Полученную кривую можно аппроксимировать на интервале скоростей от 200 до 3800 м/мин функцией:

$$T(v) = 54,367 \cdot \ln(v) - 11,403 \quad (1)$$

#### **Определение критической скорости резания**

В работе [13] авторы с помощью аналитических зависимостей находят критическую температуру, при превышении которой происходит переход поверхностного слоя материала в пластическое состояние: для стали 45 критической температурой будет  $T_{кр} = 394,6^{\circ}\text{C}$ .

Используя полученные ранее результаты моделирования, представляется возможным найти критическую СР, превышение которой будет приводить к образованию термопластических деформаций в поверхностном слое обрабатываемого изделия.

Подставив критическую температуру  $T_{кр}$  в уравнение (1) можно найти критическую СР для стали 45. Так при фиксированной глубине резания и скорости подачи максимально допустимой СР для рассматриваемой стали будет  $v = 1750,8$  м/мин.

#### **Выводы**

В данной статье авторами представлена методика определения максимальной скорости резания для стали 45 исходя из условия отсутствия термопластических деформаций. С использованием конечно-элементного пакета ANSYS 18.2. На основании данной модели построена аналитическая зависимость температуры от скорости резания, которая значительно упрощает и ускоряет процесс определения температуры поверхностного слоя при резании.

#### **Библиографический список**

1. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1963 – 239 с.
2. Колмогоров Г.Л. Технологические остаточные напряжения и их влияние на долговечность и надежность металлоизделий / Г. Л. Колмогоров, Е. В. Кузнецова, В. В. Тиунов – Пермь: изд. Перм. Нац. исслед. политех. ун-та, 2012 – 226 с.
3. Васильев Д. В., Кочина Т. Б. Упругое последствие в деталях при высокоскоростной обработке резанием // Металлообработка, 2014, № 2, с 2 – 10.
4. Инженерия поверхности деталей / колл. авт.: под ред. А. Г. Сулова. М.: Машиностроение, 2008 – 320 с.
5. Маталин А. А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов. М.: Машиностроение, 1970 – 320 с.
6. Обеспечение качества поверхностного слоя материала деталей машин / В. А. Витаминов, М. З. Захватов, А. Г. Схиртладзе, В. Н. Агеева, Вэй Пью Маунг // Технология машиностроения 2014, № 1, с. 7-11.

7. Формирование остаточных напряжений при магнитно-абразивной обработке деталей машин / Л. М. Акулова, Т. К. Романова, Л. Е. Сергеев, В. Е. Бабин, Е. В. Сенчуров // Технология машиностроения, 2014, № 3, с 24 – 27.
8. K. Gok, H. et al., Three-dimensional finite element modeling of effect on the cutting forces of rake angle and approach angle in milling.
9. Y. Yang, W. Zhu, Study on cutting temperature during milling of titanium alloy based on FEM and experiment, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 73 (9–12) (2014)1511–1521.
10. P.J. Arrazola, A. et al., On the machining induced residual stresses in IN718 nickel based alloy: experiments and predictions with finite element simulation, Simul. Model. Pract. Theory 41 (2014) 87–103.
11. T. Thepsonthi, T. Özel, Experimental and finite element simulation based investigations on micro-milling Ti-6Al-4V titanium alloy: effects of cBN coating on tool wear, J. Mater. Process. Technol. 213 (4) (2013) 532–542.
12. Piotr Nieslony, et al., Numerical 3D FEM Simulation and Experimental Analysis of Tribological Aspects in Turning Inconel 718 Alloy., J. Mach. Eng. 15 (2015).
13. Г. Л. Колмогоров, Е.В. Кузнецова, Н. А. Климов «Вопросы формирования остаточных напряжений при механической обработке» // Технология машиностроения, 2015 год вып. 12, стр. 5-8.

## **DETERMINATION OF THE MAXIMUM PERMISSIBLE CUTTING SPEED OF STEEL 45 USING THE FINITE ELEMENT METHOD**

*Kolmogorov G.L., Klimov N. A.*

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614000,  
nikita-kl@yandex.ru

The article examines the thermoelastic state of an axisymmetric body in the presence of a temperature gradient due to heating of the contact layer during cutting. Specifically, the possibility of the thermoplastic deformation in the surface layer and the possibility of the residual stresses formation during subsequent cooling have been estimated. For steel hardware, the boundary temperature regimes leading to the compressive or tensile residual stresses have been determined. Furthermore, the paper presents a specific implementation of calculating the maximum cutting speed which, if exceeded, will cause excessive heating of the machined cylindrical specimen and residual stress, which may significantly affect the reliability of the machined part. With the help of the finite element method it is possible to obtain the distribution of the temperature fields over the entire thickness of the part.

**Keywords:** residual stresses, machining, thermoelastic state, temperature, contact layer, cutting speed, finite element simulation, ANSYS.

## **КОНВЕКТИВНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ В СИСТЕМЕ СЛОЕВ ЖИДКОСТИ И ПОРИСТОЙ СРЕДЫ С ПЕРЕМЕННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ В МОДУЛИРОВАННОМ ПОЛЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ**

*Колчанова Екатерина Андреевна*

Институт Механики Сплошных Сред УрО РАН, Пермский Федеральный Исследовательский  
Центр УрО РАН, 614013, Россия, г. Пермь, ул. Академика Королева, 1,  
kolchanovaea@gmail.com

*Колчанов Николай Викторович*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, kolchanovn@gmail.com

Рассматривается линейная задача устойчивости механического равновесия в горизонтальном слое однокомпонентной жидкости, частично заполненном неоднородной пористой средой. Слой совершает вертикальные колебания с конечной частотой и амплитудой. Пористая среда моделируется системой упакованных сфер. Ее пористость и проницаемость меняются с глубиной. Сферы закреплены и колеблются вместе с полостью. Задача решается численно методами стрельбы и Галеркина. Получены резонансные области параметрической неустойчивости для синхронных и субгармонических колебаний жидкости при различных значениях амплитуды и частоты вибраций. Исследованы два типа возмущений равновесия: коротковолновые возмущения, локализованные в слое жидкости над пористой средой, и длинноволновые возмущения, проникающие в поры среды. Показано, что в системе, пористость которой убывает с глубиной, реализуется коротковолновая неустойчивость, а для системы с возрастающей пористостью характерна длинноволновая неустойчивость. При этом для резонансного возбуждения последней необходимо вибрационное воздействие с амплитудой, на порядок большей, чем для возбуждения коротковолновой неустойчивости.

Ключевые слова: конвективная устойчивость, вибрации конечной частоты, слоистая система, пористая среда, переменная проницаемость, резонансное возбуждение конвекции.

Конвекция в слоях жидкости и насыщенной пористой среды усиливает теплоперенос по сравнению с теплопроводным механизмом передачи энергии. Появление конвективного движения способствует вымыванию примесей из пор среды. Изучение конвекции неоднородно нагретой жидкости в поле силы тяжести является важной задачей в связи с ее возможным применением в различных производственных процессах, направленных на обработку или получение пористых материалов с последующей их очисткой от примесей. Усиление теплопередачи за счет конвекции снижает энергозатраты таких производств и повышает их эффективность.

Тепловая конвекция в слоистой системе, содержащей горизонтальные слои жидкости и пористой среды, насыщенной жидкостью, может возникать в виде коротковолновых валов, локализующихся в слое жидкости, или в виде длинноволновых валов, проникающих в пористую среду [1-3]. Длинноволновая проникающая конвекция в системе, состоящей из

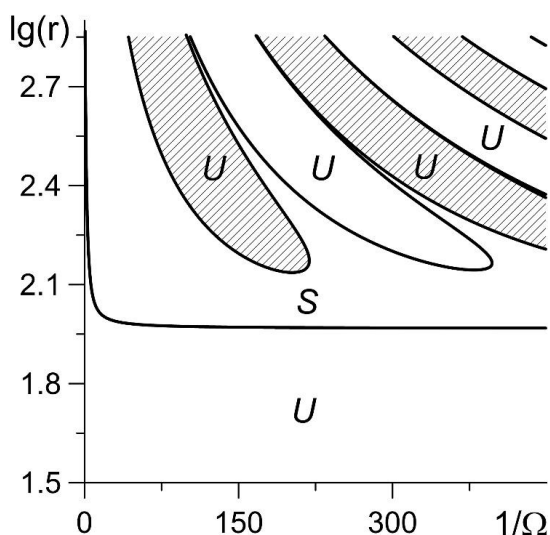


слоя жидкости, расположенного над насыщенным той же жидкостью пористым слоем, увеличивает тепловой поток почти 2-3 по сравнению с коротковолновой конвекцией [4,5].

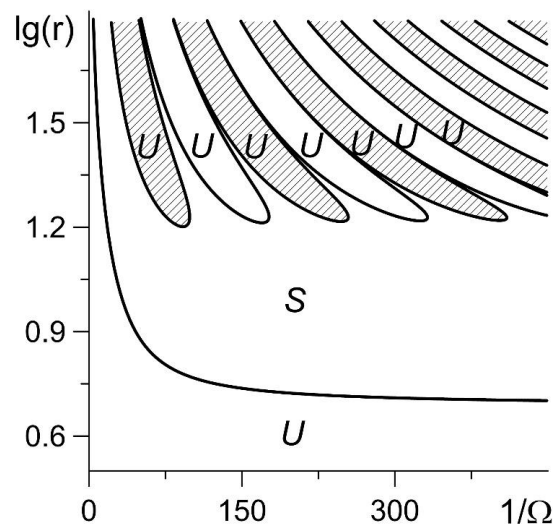
Мы рассматриваем два способа управления движением неоднородной нагретой жидкости в слоях: вибрационное воздействие, которое эквивалентно модуляции ускорения силы тяжести, и изменение фильтрационных свойств пористой среды (ее пористость и проницаемость). Вертикальные вибрации высокой частоты повышают порог устойчивости механического равновесия жидкости [6,7]. Они заметно подавляют коротковолновую конвекцию в слоях [8,9]. В поле силы тяжести и вертикальных вибраций конечной частоты возникают синхронные и субгармонические колебания жидкости [10]. Имеются резонансные области неустойчивости. Изменение пористости и проницаемости пор оказывает больший эффект на длинноволновую неустойчивость равновесия [11,12].

Работе исследуется конвективная устойчивость в подогреваемой снизу системе двух горизонтальных слоев, верхний их из которых содержит однокомпонентную жидкость, а нижний заполнен пористой средой, насыщенной этой жидкостью. Система подвергается вертикальным вибрациям конечной частоты и амплитуды в поле силы тяжести. Пористость среды линейно изменяется с глубиной. Проницаемость задается формулой Кармана-Козени. Линейная устойчивость равновесия изучается численно на основе методов стрельбы и Галеркина.

Находится граница устойчивости равновесия относительно возмущений синхронного и субгармонического откликов системы на периодическое вибрационное воздействие. На рис. 1 и 2 изображены карты устойчивости – зависимости безразмерной амплитуды вибраций в логарифмическом масштабе от обратной частоты вибраций. Слева направо чередуются резонансные области неустойчивости для синхронных и субгармонических колебаний. Области построены для длинноволновой неустойчивости, связанной с развитием возмущений в слоях, где пористость растет с глубиной при отрицательном ее градиенте (рис. 1), и для коротковолновой неустойчивости, реализующейся в слоях с убывающей пористостью при положительном ее градиенте (рис. 2). Фиксируется число Релея, превышающее критическое значение, которое соответствует порогу возникновения релейской тепловой конвекции в статическом поле тяжести.



**Рис. 1** Карты устойчивости равновесия на плоскости (амплитуда вибраций, обратная частота вибраций) при отрицательном градиенте пористости для длинноволновой конвекции. *U* – области неустойчивости, *S* – область устойчивости. Заштрихованные области относятся к субгармоническим колебаниям



**Рис. 2** Карты устойчивости равновесия на плоскости (амплитуда вибраций, обратная частота вибраций) при положительном градиенте пористости для коротковолновой конвекции. *U* – области неустойчивости, *S* – область устойчивости. Заштрихованные области относятся к субгармоническим колебаниям

Показано, что когда слои колеблются с малой амплитудой, неустойчивость связана с нарастанием синхронных возмущений при любых частотах вибраций. На рис. 1 и 2 эти области неустойчивости относятся к основной полосе, прилегающей к оси ординат. С ростом амплитуды вибраций образуется область стабилизации равновесия, когда жидкость совершает твердотельные колебания вместе с полостью. При больших амплитудах вибраций имеются интервалы частот, которые характерны для резонансного возникновения субгармонических или синхронных колебаний. Определено, что для возбуждения длинноволновой конвекции полость с жидкостью и пористой средой должна вибрировать с амплитудой, на порядок большей, чем в случае генерации коротковолновой конвекции. В пределе высокой частоты и малой амплитуды вибраций возможны только синхронные колебания. При этом в слоях появляется осредненное конвективное движение.

### Библиографический список

1. Любимов Д.В., Муратов И.Д. О конвективной неустойчивости в слоистой системе // Гидродинамика. 1977. Т. 10. С. 38-46.
2. Chen F., Chen C.F. Onset of finger convection in a horizontal porous layer underlying a fluid layer. // ASME Journal of Heat Transfer. 1988. V. 110. P. 403-409.
3. Lyubimova T.P., Muratov I.D. Interaction of the longwave and finite-wavelength instability modes of convection in a horizontal fluid layer confined between two fluid-saturated porous layers // Fluids. 2017. V.2. fluids2030039.
4. Chen F., Chen C.F. Convection in superposed fluid and porous layers // Journal of Fluid Mechanics. 1992. V. 234. P. 97-119.
5. Kolchanova E., Lyubimov D., Lyubimova T. The onset and nonlinear regimes of convection in a two-layer system of fluid and porous medium saturated by the fluid // Transport in Porous Media. 2013. V. 97. P. 25-42.
6. Зеньковская С.М., Роговенко Т.Н. Фильтрационная конвекция в высокочастотном вибрационном поле // Прикладная механика и техническая физика. 1999. №3. С. 22-29.
7. Bardan G., Mojtabi A. On the Horton–Rogers–Lapwood convective instability with vertical vibration // Physics of Fluids. 2000. V. 12. P. 2723-2731.
8. Любимов Д.В., Любимова Т.П., Муратов И.Д., Шишкина Е.А. Влияние вибраций на возникновение конвекции в системе горизонтального слоя чистой жидкости и слоя пористой среды, насыщенной жидкостью // Механика жидкости и газа. 2008. №5. С. 132-143.
9. Lyubimov D., Kolchanova E., Lyubimova T. Vibration effect on the nonlinear regimes of thermal convection in a two-layer system of fluid and saturated porous medium. // Transport in Porous Media. 2015. V. 106. P. 237-257.
10. Govender S. Linear stability and convection in a gravity modulated porous layer heated from below: Transition from synchronous to subharmonic oscillations. // Transport in Porous Media. 2005. V. 59. P. 227-238.
11. Kolchanova E.A., Kolchanov N.V. Vibration effect on the onset of thermal convection in an inhomogeneous porous layer underlying a fluid layer // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2017. V. 106. P. 47-60.
12. Kolchanova E.A., Kolchanov N.V. Nonlinear convection regimes in superposed fluid and porous layers under vertical vibrations: Positive porosity gradients // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2018. V. 121. P. 37-45.

# CONVECTIVE STABILITY IN A SUPERPOSED FLUID-POROUS LAYER WITH VARIABLE PERMEABILITY UNDER MODULATED GRAVITY FIELD

*Kolchanova Ekaterina A.*

Institute Of Continuous Media Mechanics Of The Ural Branch Of The Russian Academy Of Science, Perm Federal Research Center UB RAS, 1, Academ. Koroleva st., Perm, 614013, Russia, kolchanovaea@gmail.com

*Kolchanov Nikolay V.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, kolchanovn@gmail.com

A linear stability problem for the mechanical equilibrium in a horizontal single-component fluid layer partially filled with an inhomogeneous porous medium is considered. The layer performs vertical oscillations with finite frequency and amplitude. The porous medium is modeled by a system of packed spheres. Its porosity and permeability vary with depth. The spheres are fixed and oscillate together with the cavity. The problem is solved numerically by the shooting method and Galerkin method. Resonance regions of parametric instability are obtained for synchronous and subharmonic oscillations of the fluid at different values of the amplitude and frequency of vibrations. Two types of equilibrium perturbations are investigated: the short-wave perturbations localized in the fluid layer overlying a porous medium, and long-wave perturbations that penetrate pores of the medium. It is shown that in a system, whose porosity decreases with depth, the short-wave instability is realized and the long-wave instability is typical for a system with increasing porosity. To have resonance excitation of the latter, the cavity should oscillate with the amplitude that is an order of magnitude larger than its value for the onset of the short-wave instability.

Keywords: convective stability, finite-frequency vibrations, layered system, porous medium, variable permeability, resonance excitation of convection

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСПЕВАЕМОСТИ ПЕРВОКУРСНИКОВ ПО РАСШИРЕННЫМ РЕЗУЛЬТАТАМ ЕГЭ

*Котельников Дмитрий Александрович, Перескокова Ольга Ивановна*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, spoorru-966@mail.ru

Проводится построение модели, позволяющей прогнозировать успеваемость студента первого курса по программированию на основе расширенных данных ЕГЭ по информатике. В качестве расширенных данных ЕГЭ используются первичные баллы ЕГЭ с разбивкой по заданиям. В качестве обучающей выборки используются данные студентов 1 курса, уже прошедших обучение. Целевой функцией является суммарный балл по предмету «Алгоритмизация и программирование». Используются технологии машинного обучения. Перед построением модели проводится анализ значимости признаков, их отбор и дальнейшее преобразование для наиболее эффективной работы модели. Строятся модели, в которых используются деревья решений, логистическая регрессия и нейросети. Анализ данных проводится с помощью библиотеки машинного обучения в Python. Производится выбор наиболее эффективной модели на основе различных критериев.

Ключевые слова: прогноз успеваемости, единый государственный экзамен, расширенные результаты ЕГЭ, машинное обучение

Для повышения эффективности работы с первокурсниками полезно заранее предсказать результат его обучения по данным входного контроля. В качестве входного контроля по дисциплинам, связанным с программированием можно использовать результаты ЕГЭ по информатике. На основе прогнозных значений можно формировать группы «сильных» и «слабых» студентов, и обучать их в дальнейшем с помощью различных образовательных технологий. Имеется множество работ, когда по результатам ЕГЭ строятся те или иные модели, прогнозирующие успешность первокурсника [1,2]. Но использование только общего балла ЕГЭ при прогнозировании дает очень мало информации. В данной работе предпринята попытка прогнозировать успешность обучения по расширенным результатам ЕГЭ.

Расширенные результаты ЕГЭ предоставляются в виде первичных баллов для заданий части В и части С. Часть В состоит из 23 заданий. Каждое задание части В оценивается в 1 балл. Часть С состоит из 4 заданий. Рассмотрим их подробнее:

- С1 – поиск ошибок в программе (максимум 3 балла);
- С2 – алгоритмы обработки массивов (максимум 2 балла);
- С3 – выигрышная стратегия (максимум 3 балла);
- С4 – программирование повышенной сложности (максимум 4 балла).

Таким образом, расширенные результаты ЕГЭ представляют собой матрицу, в которой одна строка содержит результаты одного испытуемого, а столбцы соответствуют заданиям: 23 столбца для части В содержат значения 0 и 1, а четыре столбца для заданий части С содержат целые числа от 0 до максимального балла соответствующего задания.

Для построения обучающей выборки используются данные студентов, которые уже прошли обучение. Для них у нас имеются расширенные результаты ЕГЭ по информатике и

их итоговые баллы по дисциплине «Алгоритмизация и программирование». Итоговые баллы представлены целыми значениями в промежутке от 0 до 100. Требуется построить по этим данным модель, которая будет прогнозировать успешность абитуриента на механико-математическом факультете.

Анализ данных проводился с помощью библиотеки машинного обучения в Python [3]. Было установлено, что итоговые баллы по дисциплине «Алгоритмизация и программирование» и первичные баллы ЕГЭ по информатике отвечают нормальному закону распределения. Среди заданий ЕГЭ найдены неважные и сильно зависимые между собой, поэтому исходные данные требовалось преобразовать. Существовали задания, которые оценивались различной шкалой баллов, следовательно, их нужно было нормализовать (перевести все данные на отрезок  $[0;1]$ ). Так как задания в В части являются бинарной классификацией (0 – решил, 1- не решил) и большинство из них – неважные, то было решено просуммировать В1-В23 и также нормализовать эту сумму. В итоге у нас получилось 5 признаков: Сумма по В части, С1, С2, С3, С4.

Важность этих признаков оценивалась с помощью двух методов: решающих деревьев и критерия хи-квадрат. Полученные результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Важность признаков**

Используемый критерий	Важность признаков (от наименее важного признака к наиболее важному)				
	Критерий хи-квадрат	Сумма В части	С2	С1	С3
Решающие деревья	С1	С2	С3	С4	Сумма В части

Для обучения выбраны 3 модели: дерево решений, логистическая регрессия и нейронная сеть. Данные были разбиты на обучающую и тестовую выборки в соотношении 1:3. После построения качество моделей было измерено двумя способами: с помощью коэффициента детерминации и с помощью средней абсолютной ошибки. Результаты представлены в таблице «Качество моделей».

**Таблица 2. Качество моделей**

	Дерево решений	Логистическая регрессия	Нейросеть
Коэффициент детерминации	-0.647	-0.073	0.014
Средняя абсолютная ошибка	14.2	12.2	11.13

Мы можем видеть, что самой лучшей моделью является нейронная сеть. Также было выяснено, что С часть имеет большее влияние, чем отдельные задания В части. Были выяснены так же номера заданий части В, не оказывающие никакого влияния на результат обучения первокурсника программированию.

### Библиографический список

1. *Польдин О.В.* Прогнозирование успеваемости в вузе по результатам ЕГЭ // Прикладная эконометрика. 2011. № 1.С. 56-69.
2. *Богданов Е.П., Суханов А.В.* Прогнозирование успеваемости абитуриентов с использованием нейронных сетей. // Стратегические ориентиры инновационного развития АПК в современных экономических условиях. Материалы международной научно-практической конференции: в 5 частях. 2016. С. 13-18.
3. Машинное обучение и анализ данных. [Электронный ресурс] URL: <https://www.coursera.org/specializations/machine-learning-data-analysis> (дата обращения: 20.03.2018).

**PREDICTIONS OF STUDENTS' SUCCESS WITH EXTENDED RESULTS  
OF THE UNIFIED STATE EXAMINATION.**

*Kotelnikov Dmitry A., Pereskokova Olga I.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, snoopy-966@mail.ru

We research building of different models, which will predict students' success on faculty of mechanics and mathematics. These models will be built on extended results of computer science unified state exam. There is specific description of part C of computer science exam. Before we start building our models, we need to analyze our features, choose the most important and transform it into right form. We divide data to train and test with 3 to 1 ratio. Features' importance is verified with  $\chi^2$  and decisions tree. After this we build 3 models: decision tree, logistic regression and neural network. We verify the quality of our models with coefficient of determination and mean absolute error. We choose the model which has the least error.

Keywords: progress report, Unified State Exam, extended results of the unified state examination, machine learning

## РЕАЛИЗАЦИЯ СЛОЯ СООБЩЕНИЙ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

*Кудрявцев Андрей Владиславович*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, andreikudrya1995@gmail.com

В работе рассматривается проблема разработки лингвистического и программного инструмента «Слой сообщений» в системе автоматизированного проектирования и моделирования компьютерных сетей TriadNS. Данный инструмент служит основой реализации интеллектуальных агентов для динамического моделирования социальных сетей. Ключевым моментом в работе агентов является обмен различными сложными структурами данных в процессе моделирования. Слой сообщений как раз и предназначен для того, чтобы манипулировать структурами данных различной сложности, такими как векторы и матрицы, содержащие другие структуры данных, блоки кода и т.д.

Ключевые слова: социальные сети, моделирование, информационная безопасность.

### **Введение**

В настоящее время доступно множество различных способов распространения идеологии терроризма: семинары по вербовке лиц, печатные брошюры, книги, статьи и т.д. В их число входят и социальные сети. Социальные сети позволяют обмениваться любого рода информацией, в том числе вредоносной, использующейся в террористических целях. Поэтому крайне важная задача – выявить динамику распространения подобного рода информации в социальных сетях. Существует большое количество специализированных программных систем, которые предназначены для построения имитационной модели распределенных систем, для последующего проведения имитационного эксперимента, сбора статистических данных и представления результатов имитационного моделирования [1, 2]. К имитационным моделям предъявляется требование качества (квалиметрия имитационной модели), которое, в частности, предполагает, что изменение структуры и алгоритмов поведения модели не повлечет за собой ухудшения характеристик модели [3].

Решать подобного рода задачи удобно при помощи методов имитационного моделирования. Более конкретно, для анализа путей распространения информации может быть использовано агентное имитационное моделирование. Использование интеллектуальных агентов подразумевает, что между агентами может происходить обмен сообщениями, содержащими сложные структуры данных. Соответственно, необходимы соответствующие программные средства в системе моделирования, позволяющие их описывать, использовать и переопределять непосредственно во время моделирования. Данная работа посвящена реализации такого программного средства в системе TriadNS, основанной на CAD Triad [4, 5].

В качестве примера использования такой функциональности системы можно привести задачу византийских генералов. Данная задача - классический пример протокола принятия

согласованных решений. Протокол изложен в книге Э. Таненбаума и лекциях В.А. Крюкова [6].

Эта задача хорошо описывает распространение нежелательной информации в некоторой сети. Между узлами происходит обмен сложной структурой данных – сначала вектором из  $n$  элементов, затем матрицей. Так как  $n$  – количество узлов в сети, то при изменении их количества, структура в системе должна переопределяться на вектор из  $n-1$  элемента. Для этой цели служит разрабатываемое в системе TriadNS лингвистическое программное средство «Слой сообщений».

## Сравнение с существующими системами

Рассмотрим, каким образом сложные структуры данных используют при моделировании в других системах имитационного моделирования (ИМ). Рассмотрим описание многомерных структур данных в таких системах ИМ как AnyLogic и GPSS World.

## GPSS World

На языке GPSS можно использовать матрицы ячеек. В отличие от простых ячеек матрицы перед использованием должны быть описаны. Для описания матрицы применяется строка описания матрицы. В поле метки этой строки записывается имя описываемой матрицы, в поле операции - слово MATRIX, в поле операндов - параметры матрицы: в поле A записывают любое слово или оставляют поле пустым, в поле B указывают число строк матрицы, в поле C - число столбцов. Например, описать матрицу MYMATR размерами 2 4 можно с помощью строки:

```
MYMATR MATRIX , 2, 4.
```

После того как матрицы описаны, можно использовать в качестве СЧА индексированные переменные - ячейки этих матриц. Ячейка матрицы имеет обозначение вида **MX\$name(a,b)**, где name – имя матрицы, a - СЧА, значение которого задает номер строки матрицы, b - СЧА, задающий номер столбца. Например, обозначение **MX\$MYMATR(1,2)** соответствует ячейке в первой строке и втором столбце матрицы MYMATR.

В начальный момент любая матрица содержит только нулевые значения и изменить их можно только явным указанием для каждой ячейки.

### С помощью строки

```
INITIAL MX$ITOGI (2, 1), 25  
INITIAL MX$ITOGI (2, 2), 25  
INITIAL MX$ITOGI (2, 3), 25
```

устанавливается начальное значение 25 в все ячейки второй строки матрицы MX\$ITOGI,

В GPSS World двумерный массив вшит программно в систему. Таким образом, у пользователя нет возможности задать трехмерный массив, четырехмерный и т.д. Кроме того, нет возможности задать начальные значения массива отличные от нуля. Сам язык описания довольно прост и не обладает высоким порогом вхождения. В ходе моделирования нет возможности переопределить размерность массива.



## AnyLogic

Система AnyLogic одна из наиболее подходящих для сравнения систем, так как предоставляет широкие возможности для передачи данных в сообщениях между агентами.

Сообщениями могут быть экземпляры любых классов Java. Обычно сообщение используется для передачи какой-то информации. Чтобы создать такое сообщение, нужно создать Java класс с требуемыми полями и, возможно, методами.

Для создания двумерного массива пользователю предлагается воспользоваться мастером создания Java-классов, в котором можно сразу добавить некоторые примитивные типы данных. Описание самого массива необходимо на языке Java внутри класса.

```
double[][] matrix = new double[2][4];
```

Вышеприведенный код объявляет двумерный массив и инициализирует его нулями. Аналогично можно объявлять многомерные массивы и множество других сложных структур. Очевидно, что для подобного описания необходимо знание Java, который гораздо более перегружен, чем язык Triad. Немаловажным является то, что в ходе моделирования изменить размерность массива нельзя и необходимо собственноручно переписывать код интеллектуальных агентов.

## TriadNS

В данной работе предлагается добавить в систему TriadNS инструмент, который позволяет избавиться от недостатков вышеперечисленных систем моделирования, таких как необходимость знания языка программирования высокого уровня (простота и интуитивность при описании структур), отсутствие ограничений в сложности этих структур, переопределение существующих данных в ходе моделирования, генерирование новых структуры данных. Все это реализуется одним оператором и автоматизировано.

Архитектура системы TriadNS позволяет добавить подобную функциональность, так как состоит из слоев, функционирующих на разных уровнях абстракции.

Рассматривать систему как совокупность элементов и связей между ними нам позволяет слой структур. Он отражает взаимосвязи между физическими устройствами (аппаратурой). Одноуровневые связи могут быть изображены с помощью графа, вершинам которого соответствуют устройства. Если между двумя устройствами есть информационный контакт, то соответствующие вершины связаны между собой ненаправленным ребром или направленной (поток информации возможен только в одном направлении) дугой. Слой структуры задает «статическое» представление ВС.

Слой рутин (алгоритмический) описывает работу вычислительной системы во времени – величины задержек в передаче и преобразовании информации, одновременность (параллельное выполнение) некоторых операций и логические – различная реакция на сигналы, приходящие на разные входы и выбор выхода (выходов), на который должен быть выдан сигнал. Исследование слоя рутин может производиться с точки зрения сложности алгоритмов, определение вероятностных характеристик сигналов. Слой рутин задает «динамическое» описание ВС [6].

Третий слой – слой сообщений, который описывает структуры данных, которыми обмениваются устройства между собой на всех уровнях, принципы выполнения операций

над данными определенных типов, преобразования один типов данных в другие, в частности агрегирования и разделения.

## Языковые средства

Все объявления и описания слоя сообщений заключаются между трансляторными скобками `message ... endmes`.

В качестве типов сообщений могут использоваться базовые конструкции языка Triad (`real`, `integer`, `bit`) и др. без каких-либо специальных объявлений. В ряде случаев, особенно на нижних уровнях иерархии модели ВС, этого достаточно, например, выходные сообщения триггеров могут рассматриваться как имеющие тип `bit` (1), регистров – `bit` (длина регистра), адреса могут рассматриваться как числа `integer` и т.п. Однако на верхних иерархических уровнях могут потребоваться особые структуры данных. Для их введения и служит аппарат новых типов. Объявление нового типа состоит из объявления имени типа и определения типа.

Объявления имен типов производится их перечислением вслед за ключевым словом `type`. Именем типа служит выделяемый так же, как и ключевое слово идентификатор, например, `type тип1, тип2, тип3`. Объявление имен типов никак не связывает типы между собой до тех пор, пока не введены определения типов, задаваемые следующими синтаксическими правилами:

```
<определение типа сообщения> ::= <имя типа>(<параметры>) is (<составляющая типа>{,  
<составляющая типа>} )  
<составляющая типа> ::= <объявление селектора> { or <объявление селектора> }  
<объявление селектора> ::= <имя типа>  
(<параметры>)<идентификатор>(<параметры>)[<список граничных пар>].
```

## Реализация

Для каждой структуры в системе есть свой механизм разбора кода на языке Triad. Так, например, для разбора модели используется `ModelParser`, для разбора рутин `RoutineParser` и т.д. Для разбора слоя сообщений был создан механизм `MessageParser`.

Так же для каждой структуры в системе имеется свой компилятор, динамически настраивающийся во время выполнения трансляции/компиляции.

Для разбора слоя сообщений необходимо установить модуль ввода-вывода, коим служит оконный диалог, куда пользователь вводит код на языке Triad, установить режим сборки кода `CodeBuilderMode` на `BuildMessage`, установить формат выходного файла `CodeFormat` в `Txt` и `Dll` для трансляции без последующей сборки и с ней соответственно. При настройке компилятора происходит очищение текущей области видимости для переменных, перезагружаются фабрики для создания кода и разбора.

Как и в любом компиляторе, компилятор `Triad.NET` извлекает текущий символ из модуля ввода-вывода и проверяет его на соответствие ожидаемым ключам. Так, в нашем случае, слой сообщений начинается с ключевого слова **Message**. Если символ не соответствует ожидаемому, то в модуль ввода-вывода подается соответствующее сообщение об ошибке. Таким образом, выполняется лексический разбор всего слоя сообщений.

Транслятор `Triad.Net` создает графовое представление результирующего кода слоя сообщений, используя технологию `CodeDom`. Потом это представление и ссылки на

используемые сборки поступают на вход компилятору MS C#, который и создает конечный IL-код.

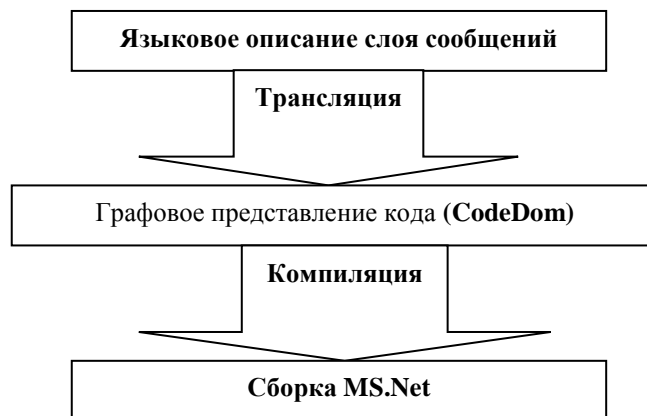


Рис. Схема работы транслятора

Такой подход с технологией CodeDom (Рис.) позволяет задействовать мощные возможности компилятора Microsoft, избавляя нас от необходимости писать свой генератор объектного кода.

### Вывод

Разработанный инструмент позволяет системе имитационного моделирования TriadNS вынести структуры данных в отдельную абстракцию, независимую от остальных слоев системы. Такое вынесение, в свою очередь, позволяет системе выполнять доопределение, достраивание и реконфигурирование модели для нахождения оптимальной структуры и устройства моделируемой системы непосредственно в процессе моделирования.

### Библиографический список

1. *The Network Simulator – NS-2*. Доступно на сайте: <http://www.isi.edu/nsnam/ns> (Проверено: 27 марта 2018).
2. OPNET Modeler. Доступно на сайте: <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/opnet.html> > (Проверено: 27 марта 2018).
3. Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Концептуальные основы квалиметрии моделей и полимодельных комплексов // Имитационное моделирование. Теория и практика: сб. докл. 2-й всерос. науч.-практ. конф. ИММОД–2005. Т. 1. СПб: ЦНИИТС. 2005. С. 65–70.
4. *Mikov A.I. Simulation and Design of Hardware and Software with Triad* // Proc.2nd Intl. Conf. on Electronic Hardware Description Languages. Las Vegas, USA. 1995. P. 15-20.
5. *Mikov A.I. Formal Method for Design of Dynamic Objects and Its Implementation in CAD Systems* // Gero J.S. and Sudweeks F. (eds). *Advances in Formal Design Methods for CAD*, Preprints of the IFIP WG 5.2 Workshop on Formal Design Methods for Computer-Aided Design. Mexico, 1995. P. 105–127.
6. *Крюков В.А. Операционные системы распределенных вычислительных систем (распределенные ОС)*. Доступно на сайте [www.parallel.ru](http://www.parallel.ru) (Проверено: 27 марта 2018).

# **MESSAGES LAYER IMPLEMENTATION FOR DYNAMIC MODELING OF SOCIAL NETWORKS**

*Kudryavtsev Andrei Vladislavovich*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, andreikudrya1995@gmail.com

The paper considers the development of the linguistic and software tool "Message Layer" in the system of computer-aided design and simulation of computer networks TriadNS. This tool serves as the basis for implementing intelligent agents for the dynamic modeling of social networks. The key point in the work of agents is the exchange of various complex data structures in the modeling process. The message layer is designed to manipulate data structures of varying complexity, such as vectors and matrices containing other structures, blocks of code, and so on.

Keywords: social networks, modeling, information security.

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ, ЛИНЕАРИЗИРОВАННОЙ В ОКРЕСТНОСТИ БАЗОВОГО ДВИЖЕНИЯ, ПО КРИТЕРИЯМ "МИНИМУМ ЭНЕРГИИ" И "МИНИМУМ СИЛЫ"**

*Кучкова Татьяна Юрьевна, Лутманов Сергей Викторович*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, mpu@psu.ru

В данной работе исследуется управляемый динамический объект с тремя степенями свободы. Решена задача наведения фазового вектора линеаризованной динамической системы на начало координат. В результате формируется программное управление, совмещающее возмущенное движение динамического объекта с его базовым движением. На решение задачи наведения налагаются дополнительные требования оптимальности по критериям «минимум энергии» и «минимум силы». Их построение производится методом моментов на основе принципа максимума Н. Н. Красовского [1]. Проводится сравнительный анализ полученных решений по указанным выше критериям. Результаты исследования проиллюстрированы численно на конкретном примере. Приводятся графики норм оптимальных программных управлений. Показано совпадение численных результатов с теоретически ожидаемыми результатами. Данная статья является продолжением работы [2].

Ключевые слова: минимум энергии, минимум силы, линеаризация, базовое движение, возмущенное движение, оптимальное управление.

### **Введение**

В данной работе исследуется управляемый динамический объект с тремя степенями свободы. Исследование производится в соответствии с методикой, представленной в статье [3] и содержит следующие пункты:

- вывод дифференциальных уравнений движения управляемого динамического объекта;
- подбор базового кинематического закона движения объекта, удовлетворяющего заданным формализованным требованиям;
- решение обратной задачи динамики по нахождению программного управления, реализующего базовый закон движения объекта;
- построение линеаризованных дифференциальных уравнений управляемого движения в окрестности базового кинематического закона, описывающих динамику возмущений;
- проверка линеаризованной системы на полную управляемость;
- решение задачи оптимального управления по обнулению возмущений по критериям «минимум энергии» и «минимум силы»;
- сравнительный анализ решений задачи управления по указанным критериям;
- проверка качества полученных управлений для исходной нелинейной модели динамического объекта;

## 1. Описание модели и постановка задачи

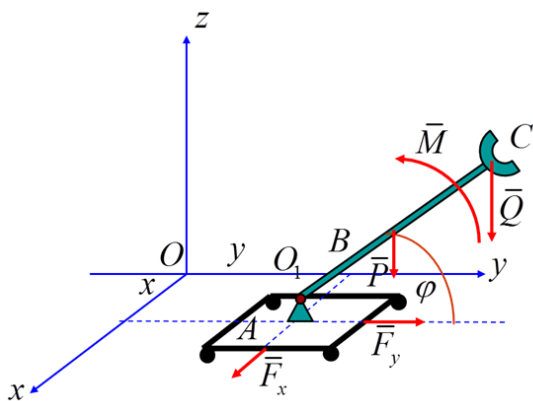


Рис. 1: Чертеж платформы А

Платформа А массы  $m_A$  движется поступательно без трения вдоль горизонтальной плоскости (см. рис. 1). На платформе установлен цилиндрический шарнир, который разрешает вращаться однородному стержню В массы  $m_B$  и длиной  $2l$  в плоскости, параллельной плоскости  $Oyz$ . На конце стержня имеется точечный «схват» С массы  $m_C$ . К платформе приложены управляющая сила  $\bar{F} = \begin{pmatrix} F_x \\ F_y \\ 0 \end{pmatrix}$  и управляющий

$$\text{момент } \bar{M} = \begin{pmatrix} M_x \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Заданы начальное и конечное положение схвата и его скорости:

$$x_C^0, y_C^0, z_C^0, x_C^1, y_C^1, z_C^1, \dot{x}_C^0, \dot{y}_C^0, \dot{z}_C^0, \dot{x}_C^1, \dot{y}_C^1, \dot{z}_C^1.$$

Управление объектом производится на промежутке времени  $[t_0, t_1]$ . В процессе перехода схвата из начального положения в конечное положение должны выполняться условия:

$$\dot{x}_C^0 = \dot{y}_C^0 = \dot{z}_C^0 = \dot{x}_C^1 = \dot{y}_C^1 = \dot{z}_C^1 = 0, z_C(t) \in (0, 2l], \varphi(t) \in [0, \pi]. \quad (1)$$

В работе решаются следующие задачи.

**Задача 1.** Найти программное управление  $\hat{v}(\cdot)$  объектом, переводящее схват из заданного начального положения в конечное положение в момент времени  $t_1$ , удовлетворяющее при этом условиям (1).

**Задача 2.** В случае не соблюдения начальных условий построить дополнительное управление  $u(\cdot)$ , обеспечивающее возвращение тела на базовый закон движения.

Задача 2 дополняется требованием оптимальности программного управления, решающего эту задачу, по критериям «минимум энергии» и «минимум силы» [1].

Решение сформулированных задач будут иллюстрироваться на следующих числовых данных

$$m_A = 10 \text{ кг}, m_B = 4 \text{ кг}, m_C = 2 \text{ кг}, l = 1 \text{ м}, x_C^0 = y_C^0 = z_C^0 = 0.5 \text{ м}, x_C^1 = y_C^1 = z_C^1 = 1 \text{ м}.$$

## 2. Решение задач

Уравнения Лагранжа второго рода, разрешенные относительно старших производных имеют вид:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= f_1(F_x), \\ \ddot{y} &= f_2(\varphi, \dot{\varphi}, F_y, M_x), \\ \ddot{\varphi} &= f_3(\varphi, \dot{\varphi}, F_y, M_x). \end{aligned} \quad (2.1)$$

Закон  $x = \hat{x}(t)$ ,  $y = \hat{y}(t)$ ,  $\varphi = \hat{\varphi}(t)$ ,  $t \in [t_0, t_1]$  будем искать в виде полиномов третьей степени

$$\begin{aligned}
\hat{x}(t) &= a_{3x}t^3 + a_{2x}t^2 + a_{1x}t + a_{0x}, \\
\hat{y}(t) &= a_{3y}t^3 + a_{2y}t^2 + a_{1y}t + a_{0y}, \\
\hat{\varphi}(t) &= a_{3\varphi}t^3 + a_{2\varphi}t^2 + a_{1\varphi}t + a_{0\varphi}.
\end{aligned}
\tag{2.2}$$

Программное управление, решающее задачу 1, строится путем подстановки закона (2.2) в уравнения (2.1) и разрешения их относительно управлений  $F_x, F_y, M_x$ . В дальнейшем это управление будем называть базовым.

В уравнениях движения (2.1) введем дополнительные управления  $u_1, u_2, u_3$ . В результате получим

$$\begin{aligned}
\ddot{x} &= f_1(F_x + u_1), \\
\ddot{y} &= f_2(\varphi, \dot{\varphi}, F_y + u_2, M_x + u_3), \\
\ddot{\varphi} &= f_3(\varphi, \dot{\varphi}, F_y + u_2, M_x + u_3).
\end{aligned}
\tag{3.1}$$

С помощью дополнительных управлений можно оказывать влияние на динамику возмущений, которая достаточно точно описывается линеаризованными в окрестности пары «базовое управление, базовое движение» дифференциальными уравнениями (3.1).

Строится линеаризованная система дифференциальных уравнений

$$\dot{x} = A(t)x + B(t)u, \quad t \in [t_0, T].$$

где  $x \in R^6$ ,  $u \in R^3$ ,  $A(t) \div 6 \times 6$  и  $B(t) \div 6 \times 3$ .

Требуется определить программное управление  $u^*(t), t \in [t_0, T]$ , переводящее фазовый вектор линейного объекта из начального положения  $x(t_0)$  в начало координат. Полученное управление дополняется требованием оптимальности программного управления по критериям «минимум энергии» с функционалом

$$I^{эн} [u^{эн}(\cdot)] = \left[ \int_{t_0}^T \langle u^{эн}(\tau), u^{эн}(\tau) \rangle d\tau \right]^{\frac{1}{2}} = \min_{u(\cdot)} \left[ \int_{t_0}^T \langle u(\tau), u(\tau) \rangle d\tau \right]^{\frac{1}{2}}$$

и «минимум силы» с функционалом

$$I^{сил} [u^{сил}(\cdot)] = \text{vrai max}_{\tau \in [t_0, T]} \|u^{сил}(\tau)\| = \min_{u(\cdot)} \left[ \text{vrai max}_{\tau \in [t_0, T]} \|u(\tau)\| \right].$$

Иллюстрацией того факта, что управление  $u^*(t), t \in [t_0, T]$  может быть оптимально по разным критериям («минимум энергии», «минимум силы») служит следующая таблица.

Таблица 1

Управления $u(\cdot)$	Функционалы $I[u(\cdot)]$	
	Минимум энергии $I^{эн}[u(\cdot)]$	Минимум силы $I^{сил}[u(\cdot)]$
Минимум энергии $u^{эн}(t)$	$I^{эн}[u^{эн}(\cdot)] = 4.43934$	$I^{сил}[u^{эн}(\cdot)] = 7.52627$
Минимум силы $u^{сил}(t)$	$I^{эн}[u^{сил}(\cdot)] = 5.09758$	$I^{сил}[u^{сил}(\cdot)] = 5.09758$

В этой таблице каждый диагональный элемент является наименьшим в своем столбце. Кроме того имеют место равенства

$$I^{сил} [u^{сил}(\cdot)] = 5.09758 = \frac{1}{\rho^0}, \quad I^{эн} [u^{сил}(\cdot)] = 5.09758 = \sqrt{T-t_0} \cdot I^{сил} [u^{сил}(\cdot)],$$

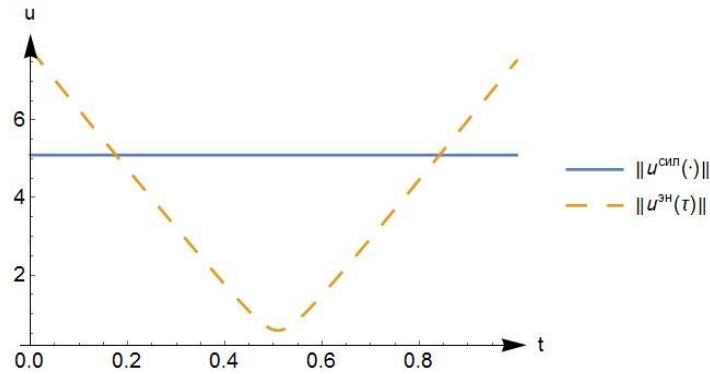


Рис. 2: График функции

Построен совместный график функций (см. рис 2)  $\|u^{opt}(\cdot)\|, \|u^{zh}(\tau)\|$  на промежутке  $[t_0, T]$ , иллюстрирующий неравенство

$$\|u^{opt}(t)\| \leq \max_{\tau \in [t_0, T]} \|u^{zh}(\tau)\|, \quad t \in [t_0, T]$$

### Библиографический список

1. Красовский Н. Н. Теория управления движением. – М.: Наука, 1968. – 476 с.
2. Кучкова Т. Ю., Лутманов С. В. Задачи управления одной динамической системой с тремя степенями свободы // Проблемы механики и управления. Межвуз. Сб. науч. трудов, вып. 49, Пермь, 2017, С. 25-36.
3. Лутманов С. В. Об одной методике исследования управляемой динамической системы лиц // Вестник Пермского университета, Математика, Механика, Информатика, Вып. 1. (36), Пермь, 2017, С.4..

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS OF CONTROL OF A DYNAMIC SYSTEM LINEARIZED IN A NEIGHBORHOOD OF THE BASIC MOVEMENTS, ACCORDING TO THE CRITERIA OF "MINIMUM ENERGY" AND "MINIMUM FORCE"

*Kuchkova Tatyana Y., Lutmanov Sergey V.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, mpu@psu.ru

In this paper we study a controlled dynamic object with three degrees of freedom. The problem of aiming the phase vector of a linearized dynamic system at the origin is solved. As a result, a program control is formed that combines the perturbed motion of a dynamic object with its basic motion. Additional requirements of optimality according to the criteria "minimum of energy" and "minimum of force" are imposed on the solution of the guidance problem. Their formation is made by the method of moments based on the principle of Maximin N. H. Krasovsky [1]. The comparative analysis of the received decisions on the criteria specified above is carried out. The results of the study are illustrated numerically on a concrete example. Graphs of norms of optimal program controls are given. The coincidence of numerical results with theoretically expected results is shown. This article is a continuation of the work [2].

Keywords: minimum energy, minimum force, linearization, basic motion, perturbed motion, optimal control.



**АВТОМАТИЧЕСКОЕ СОСТАВЛЕНИЕ УЧЕБНЫХ РАСПИСАНИЙ**

*Макурин Роман Анатольевич, Городилов Алексей Юрьевич*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, mak.jr@ya.ru

В работе описан подход к составлению учебного расписания в школе на основе генетических алгоритмов. Критически важные, универсальные требования к расписанию описываются на языке теории графов. При кодировании особей используется оригинальный подход на основе промежуточного представления, позволяющего применять стандартные генетические операторы. Промежуточное представление трансформируется в корректное расписание с помощью жадного алгоритма раскраски графа. Прочие, индивидуальные требования, описываются в виде гибко настраиваемой функции приспособленности, что делает возможной быструю адаптацию предложенного алгоритма к условиям конкретного учебного заведения. Алгоритм реализован в виде программы составления учебного расписания. В работе приведены результаты тестирования программы на реальных данных, показана корректность и преимущества предложенного подхода, отмечены пути развития.

Ключевые слова: составление расписания, генетический алгоритм, раскраска графа.

Составление расписания – одна из наиболее актуальных задач в планировании и оптимизации процесса обучения в учебных заведениях. От того, насколько хорошо составлено расписание, зависит эффективность работы преподавателей, усвоение учебного материала учениками, рациональное использование материальных ресурсов.

На настоящий момент существует ряд программ составления учебного расписания (например, aSc Расписание, ХроноГраф [1]). Однако эти программы обладают рядом недостатков (перегруженный интерфейс, неудобство ввода исходной информации), а получаемое ими расписание не является оптимальным. Кроме того, помимо общепринятых критериев оптимальности расписания (таких, как отсутствие «окон» у обучающихся и преподавателей), в большинстве учебных заведений стараются учесть индивидуальные предпочтения (методические дни у преподавателей, отсутствие первых или последних уроков и т.п.), а существующие программы не обладают достаточной гибкостью при настройке правил генерации и оценке получаемых расписаний. По этой причине диспетчеру по расписанию обычно приходится в «ручном» режиме (в некоторых случаях даже на бумаге) корректировать составленное программным средством расписание

В силу большой комбинаторной сложности задачи составления расписания на практике для ее решения применяют различные приближенные, эвристические алгоритмы. Некоторые из них оказываются менее пригодны [2], другие показывают хорошие результаты [3]. В данной работе выбран подход на основе генетического алгоритма, так как генетические алгоритмы успешно применяются в многокритериальных задачах, где критерий оптимальности носит эвристический характер и задан нечётко.

В генетическом алгоритме [4] особь представляется неким кодом, называемым хромосомой, и описывает одно из возможных решений задачи. В решаемой задаче решением является некоторое расписание, то есть таблица, содержащая для каждого класса (группы) указание о последовательности занятий и месте их проведения.

Введем некоторые ограничения в решаемую задачу. Будем составлять школьное расписание и условимся, что каждый день у каждого класса не более шести уроков, а рабочая неделя состоит из пяти дней. Таким образом, количество уроков в расписании одного класса на неделю не превышает 30.

Непосредственное кодирование расписания в виде хромосомы влечет появление большого количества «нежизнеспособных» особей в результате скрещивания и мутаций в силу появления накладок в расписании преподавателей (когда предметы одного учителя попадают на одно и то же время), поэтому в предлагаемом решении используется промежуточное представление.

Представим учебный план в виде сильно связанного графа  $G=(V,E)$ , где  $V$  – множество уроков в соответствии с учебным планом. Каждая вершина  $V_i = (c_i, t_i)$ ,  $c_i$  – конкретный класс из множества классов  $C$ , а  $t_i$  – преподаватель из множества преподавателей  $T$ , который преподаёт данный урок в классе  $c_i$ . Вершины  $V_i, V_j$  являются смежными тогда, когда  $c_i = c_j$ , или  $t_i = t_j$ .

Правильно раскрасим граф  $G$  (любые две смежные вершины будут окрашены в разные цвета). Тогда все вершины, покрашенные в один цвет, не вызывают конфликтов, и соответствующие им уроки можно провести одновременно. Назначая каждому цвету своё время (номер урока), получим корректное расписание.

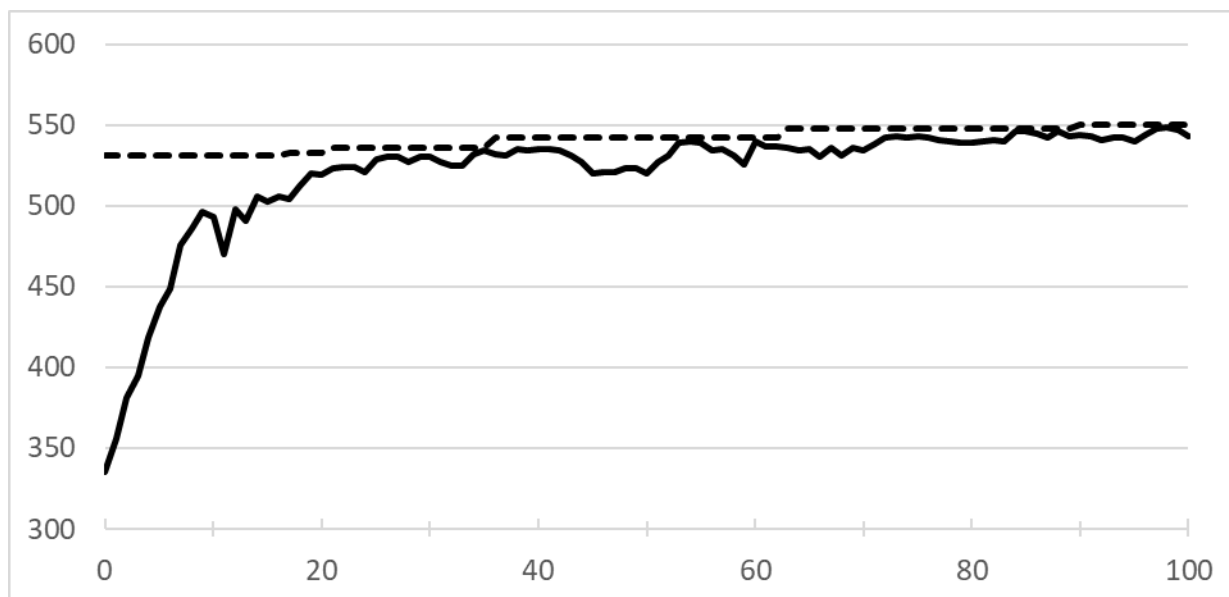
Для правильной раскраски графа применим жадный алгоритм, суть которого заключается в последовательном просмотре всех вершин и раскраске каждой вершины в первый возможный цвет. Естественно, что получаемая раскраска существенно зависит от последовательности просмотра вершин. Хромосома в ГА как раз и будет кодировать такую последовательность. Таким образом, любая особь в ГА кодирует корректное расписание (отсутствие ситуаций, когда один преподаватель по расписанию должен вести занятие сразу у двух классов или, наоборот, когда один класс должен находиться одновременно на двух занятиях), а далее получаемые расписания оцениваются с помощью прочих гибко настраиваемых критериев оптимальности.

В реализованном генетическом алгоритме для отбора особей был выбран рулеточный отбор, при котором более приспособленная особь имеет большую вероятность на скрещивание. Для скрещивания выбран одноточечный кроссовер, так как в решаемой задаче именно он позволяет потомку частично наследовать от родителей порядок раскраски. Для оператора мутации опытным путём установлено следующее правило: с вероятностью 5% происходит обмен четырех генов потомка между собой.

Для тестирования реализованного алгоритма при оценке оптимальности получаемого расписания использовалась функция приспособленности, построенная с учётом мнения экспертов – школьных диспетчеров по расписанию. Для вычисления значения функции применяется следующий алгоритм.

1. Для каждого класса проходим по всем его урокам в расписании.
2. Если встретилось окно в середине дня из оценки вычитается 30 единиц, иначе за каждый урок начисляется единица.
3. Если чередуются естественно-математические и гуманитарные предметы, то к оценке добавляется единица.
4. Оценки по каждому классу суммируются в общую оценку расписания.

Учебный план для тестирования был взят из реальной школы. Он включал 15 классов, 29 учителей, 438 уроков. У каждого класса нагрузка по 28-30 уроков в неделю.



**Рис. Графики изменения среднего (сплошная линия) и максимального (пунктирная линия) значения функции приспособленности.**

Средняя оценка начальной популяции составляла около 300. При выполнении генетического алгоритма средняя оценка популяции растет, а разнообразие падает, и мы достигаем локального максимума функции. Получаемое в результате работы ГА расписание не содержит «окон», что по сути и отражено экспертами в алгоритме оценивания оптимальности расписания как главный критерий.

Динамика работы ГА отражена на рисунке, который демонстрирует высокую скорость и монотонный характер роста функции приспособленности, что подтверждает корректность реализованного алгоритма.

При использовании случайного способа генерации расписания для четырех классов одной параллели лишь 1% из 1000 сгенерированных расписаний получался корректным.

В последующих реализациях планируются следующие улучшения: увеличение числа критериев, по которым можно осуществить настройку алгоритма; реализация пользовательского интерфейса для изменения критериев оптимальности; предоставление возможности изменения расписания вручную с помощью перетаскивания (Drag&Drop).

### Библиографический список

1. *ХроноГраф* 3.0 Мастер [Электронный ресурс] URL: [http://www.chronobus.ru/normbase/detail.php?ELEMENT\\_ID=1772564](http://www.chronobus.ru/normbase/detail.php?ELEMENT_ID=1772564) (дата обращения: 01.02.2018)
2. *Gaspero L.D., McCollum B., Schaerf A.* The Second International Timetabling Competition 2007. [Электронный ресурс] URL: <http://www.cs.qub.ac.uk/itc2007/curriculumcourse/report/curriculumtechreport.pdf> (дата обращения: 01.02.2018)
3. *Чуприна С.И., Басов Д.В.* Подход к разработке интегрированной инструментальной среды составления учебных расписаний // Актуальные проблемы математики, механики, информатики: материалы Международной научно-методической конференции, посвященной 90-летию высшего математического образования на Урале. Пермь. 2006. С. 163-165.
4. *Mitchell M.* An Introduction to Genetic Algorithms. Cambridge: The MIT Press, 1996.

## AUTOMATIC SHEDULING

*Makurin Roman A, Gorodilov Alexey Yu.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, mak.jr@ya.ru

This paper presents the approach to school schedule compilation on genetic algorithms basis. Critical and multipurpose requirements to schedule are described by graph theory language. Here is used the unique method: the intermediate representation basis allows to use standard genetic operators. The representation is transformed into proper schedule due to greedy coloring graph algorithm. Additional individual parameters are programmed as flexible fitness function. Thus, fast algorithm adaptation to institution conditions is possible. The algorithm is presented as school schedule compilation program. The paper demonstrates the real data testing results, the advantages and development trends of the approach.

Keywords: generation of schedules, genetic algorithm, graph coloring.

## РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АССИСТЕНТА СПЕЦИАЛИСТА ОТДЕЛА ПРОДАЖ

*Миллер Юрий Олегович, Бидуля Юлия Владимировна*

Тюменский Государственный Университет, 625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 6,  
ym7293@mail.ru

Статья содержит описание подхода к решению проблемы подбора номенклатуры оборудования с использованием ERP-системы. В качестве решения предлагается использовать интеллектуальный алгоритм с применением метода машинного обучения. Предлагается программно-техническое решение для решения проблемы, приведена архитектура и схема взаимодействия модулей информационной системы. Приводится алгоритм машинного обучения, участвующий в функционировании и обучении подсистемы. Указываются результаты работы с демонстрацией применительно к исходному интерфейсу программного обеспечения для специалистов отдела продаж.

Ключевые слова: интеллектуальная система, обработка естественного языка, машинное обучение, парсинг, стемминг, байесовский классификатор, веб-сервис

**Введение.** На сегодняшний день темпы развития бизнеса и торговых отношений диктуют новые формы ведения работы, при которых интеллектуальные ассистенты специалистов становятся неотъемлемым атрибутом операционной деятельности любой организации. Интеллектуальные ассистенты представляют собой интегрированные в среду работы специалистов интеллектуальные системы (ИС, англ. intelligent system) — это технические или программные системы, способные справляться с задачами, традиционно являющимися творческими, а решение подобных задач считается сугубо человеческой прерогативой. К подобным задачам относятся, например, такие, как задачи распознавания и классификации.

Рассмотрим ситуацию: организация занимается поставкой оборудования и комплектующих на промышленные предприятия. Одним из этапов формирования коммерческого предложения (КП) для контрагента является подбор номенклатуры оборудования в соответствии с заказом клиента, осуществляемый на основании данных ERP-системы. Обычно специалист-эксперт выполняет выбор из каталога существующей номенклатуры, основываясь на собственных знаниях и опыте, обращаясь к внешним источникам, осуществляя непосредственный поиск по совпадению в справочнике номенклатуры для каждой позиции содержания заказа, тем самым затрачивая много времени на процедуру подбора.

Самым простым решением является автоматизация поиска номенклатуры по названию среди данных, хранящихся в ERP-системе. Однако гораздо более эффективная реализация возможна при условии, что будет учитываться предыдущий опыт подбора номенклатуры для

конкретных клиентов. Кроме того, необходимо принимать во внимание возможность несоответствия формулировок содержания заказа известным номенклатурам.

Было принято решение использовать подход, при котором система обучается на текстах ранее сделанных заказов с применением методов математической лингвистики и алгоритмов классификации. В качестве класса принята конкретная номенклатура, в то время как текст заказа является элементом класса. В качестве метода классификации был выбран наивный байесовский классификатор [1].

Алгоритм автоматического подбора номенклатуры включает следующие шаги:

### **1. Предобработка данных:**

- выгрузка содержимого заказов из файлового хранилища (с периодичностью один раз в сутки).

- удаление символов, кроме букв и цифр;

- разбиение на слова-подстроки по пробелам;

- удаление «стоп»-слов (была создана выборка из 250 «стоп»-слов; в них, помимо прочих редко встречающихся в содержаниях заказов слов, входят такие части речи русского языка, как, союзы, частицы, предлоги).

- стеммизация (отсечение окончаний слов для приведения их к словарной форме) с использованием библиотеки PyStemmer.

- представление текста заказа в виде векторной модели, основанной на булевых весах термов [2]. Нуль или единица означают, встречается ли слово заранее подготовленного словаря в содержании заказа. Размерность каждого вектора равна 300. Векторы заказов, отнесенные к известным номенклатурам, формируют обучающую выборку. Кроме того, в качестве признака классификации используется идентификатор клиента-заказчика.

### **2. Режим обучения**

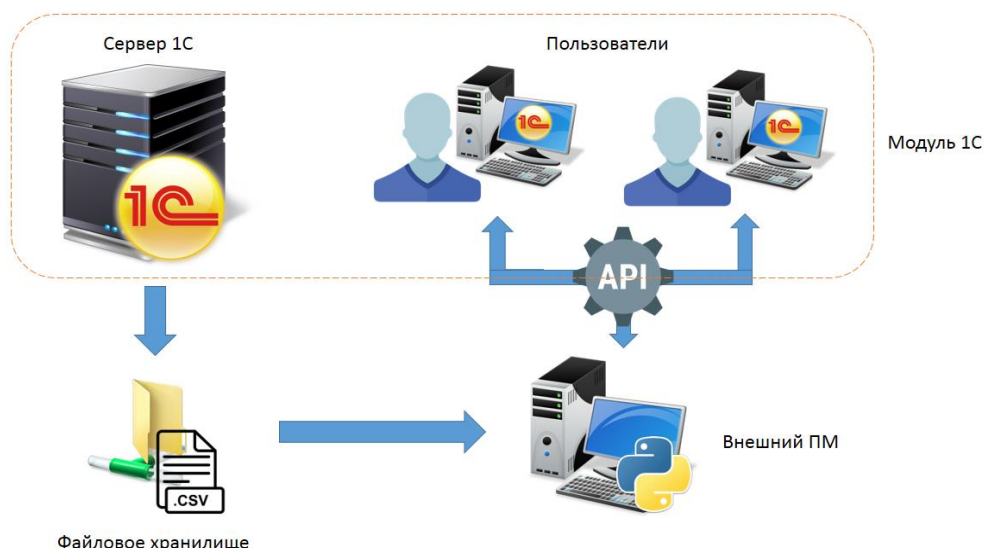
В пространстве векторов обучающей выборки производится вычисление вероятностей для каждого термина с использованием пакета Scikit Learn [3]. Вероятности сохраняются в базе данных внешнего программного модуля.

### **3. Режим классификации**

На вход алгоритма поступает содержание заказа. Оно проходит предобработку, аналогично шагу 1, затем проходит через алгоритм классификации с использованием пакета Scikit Learn. В результате система выдает наиболее вероятный идентификатор наиболее вероятной номенклатуры.

Подбор осуществляется в процессе редактирования документа КП в интерфейсе ERP-системы. В рамках системы клиент и номенклатура характеризуются уникальными идентификаторами. Таким образом, программно-техническое решение должно быть реализовано в рамках ERP-системы с возможностью обмена данными с внешним программным модулем. В качестве ERP-системы используется конфигурация «1С:Предприятие».

На рисунке 1 представлена схема взаимодействия модулей системы. Сервер 1С:Предприятие и рабочие станции специалистов взаимодействуют с внешним программным модулем, включающим веб-сервис с механизмом предобработки текстовых данных и алгоритмом интеллектуального подбора.



**Рис. 1. Схема модулей подсистемы**

В конфигурацию сервера 1С:Предприятие были внесены изменения, заключающиеся в добавлении операции выгрузки (регламентного задания) товарных позиций коммерческих предложений, в которых содержанию заказа уже подобрана конкретная номенклатура. Файл-выгрузки в формате «csv» выгружается на файловое хранилище организации и содержит такие данные, как идентификатор клиента, содержание заказа и соответствующий идентификатор номенклатуры.

Внешний ПМ включает в себе механизм загрузки данных из файлового хранилища, веб-сервиса с API для обмена с конфигурацией клиента 1С:Предприятие, а также реализованным интеллектуальным алгоритмом подбора. Внешний ПМ должен возвращать клиентской конфигурации 1С результат работы алгоритма подбора номенклатуры исходя полученного клиента и содержания заказа.

Реализованный алгоритм подбора способен подбирать номенклатуру (рисунок 2), даже если ID (идентификатор) клиента не входил в выборку и окончания слов содержания отличаются. При подаче идентичных по ассоциированной номенклатуре содержаний и разных ID клиента, алгоритм будет подбирать номенклатуру с учетом клиента.

Клиент:	ОАО "Компания"	Статус:	Действует
Организация:	ООО	Действует до:	..
Операция:	Реализация	Валюта:	руб.
		Текущее состояние:	руб.

Содержание    Товары (1)    Дополнительно

Вариант 1    + Добавить вариант

Добавить    Разделитель    Подобрать через И.Т.А.    Заполнить цены    Сю

№	Содержание	Комментарий	Артикул	Номенклатура
1	Счетчик *модуля			Счетный м...
2	Соединение ZQ203			Штуцер уг...

**Рис. 2. Результат работы интеллектуального алгоритма в интерфейсе 1С:Предприятие**

По предварительным оценкам, в результате применения интеллектуального ассистента возможно высвобождение до 40 человеко-часов в месяц за счёт автоматизации подбора номенклатуры при составлении коммерческих предложений специалистами отделов продаж.

### Библиографический список

1. Machine Learning Mastery - How To Implement Naive Bayes From Scratch in Python [Электронный ресурс] URL: <https://machinelearningmastery.com/naive-bayes-classifier-scratch-python/> (дата обращения: 02.02.2018).
2. ML Wiki - Vector Space Models [Электронный ресурс] URL: [http://mlwiki.org/index.php/Vector\\_Space\\_Models](http://mlwiki.org/index.php/Vector_Space_Models) (дата обращения: 06.02.2018).
3. Scikit learn - Naive Bayes [Электронный ресурс] URL: [http://scikit-learn.org/stable/modules/naive\\_bayes.html](http://scikit-learn.org/stable/modules/naive_bayes.html) (дата обращения: 10.02.2018).

## THE DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL ASSISTANT FOR SALES DEPARTMENT MANAGER

*Miller Yuriy O., Bidulya Yuliya V.*

University of Tyumen, 6 Volodarskogo Street, Tyumen, Russia, 625003, ym7293@mail.ru

This paper contains description of the problem of manual stock list association, carrying by managers using ERP systems. The first part of the work presents the relevance of machine learning for purposes of the manual association problem. The second part of this work gives the description of suggesting software and hardware solution. This paper also shows architecture of the above-mentioned solution. The third part demonstrates the main steps during the natural language processing for learning and classification which was implemented in the external program module of the solution. This part shortly describes machine learning algorithm which associates order content position with item from the stock list as a classification problem. The conclusion of this article shows the results of work, including screenshot of the program interface after successful association.

Keywords: intelligent system, natural language processing, machine learning, parsing, stemming bayesian classifier, web-service



## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОВЕРКИ СЛУХОВ В СРЕДСТВАХ МАССОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

*Митрофанова Виктория Сергеевна, Бидуля Юлия Владимировна*

Тюменский государственный университет, 625003, Россия, г. Тюмень, ул. Семакова, 10,  
SpiderVik@yandex.ru

В статье обсуждаются аспекты разработки информационной системы для проверки достоверности информации новостей, опубликованных в сети Интернет. Произведен анализ существующих подходов, представленных в научных публикациях по данной проблеме. Показано, что для оценки достоверности новости необходимо использовать как лингвистические характеристики текста, так и внешние данные, такие как дата опубликования, тематика, порядок публикаций, особенности поведения пользователей. Предлагается программное решение для разработки плагина к браузеру, позволяющего в режиме реального времени произвести оценку достоверности новости с использованием материалов социальной сети и методов кластерного анализа. Рассматриваются два варианта оценки: на основании аномалий поведения пользователей социальной сети в процессе обсуждения новости и на основании оценки соотношения поддерживающих и опровергающих сообщений по теме новости.

Ключевые слова: интеллектуальная система, обработка естественного языка, кластерный анализ, веб-сервис, обнаружение слухов

Мэром города в штате Аляска стал кот. Несколько обескураживающая новость, не правда ли? Звучит настолько удивительно, что невольно задумываешься, а не шутка ли это. В комментариях к такой новости наверняка разгорится спор, который утихнет либо когда это подтвердит ещё ряд СМИ, либо когда губернатор Аляски напишет об этом в своем «Твиттере».

Такой пример наглядно иллюстрирует природу слуха, который определяют, как спорное, проверяемое фактами утверждение [1]. Спорное – значит побуждает активное обсуждение, мнения в котором диаметрально расходятся. Слухи – это явление, надежно связанное с межличностной коммуникацией, а в последние годы платформы для этой коммуникации - социальные сети - приобрели огромную популярность, причем стали не просто инструментом для общения, но и источником новостей. Например, во время землетрясения в Японии «Твиттер» стал основной площадкой информирования населения о текущей ситуации [2].

Однако, существует проблема в том, что в Интернете информация не проходит через проверку качества, как это принято, например, в официальных СМИ, ведь источником информации может быть как официальный аккаунт президента страны, так и абсолютно любой другой пользователь соцсети. В такой ситуации появление слухов просто неизбежно. Хотя понятию «слух» (англ. «rumor») часто придают отрицательный оттенок, слухи могут быть как ложными, так и правдивыми, так что вы можете как получить удивительную «инсайдерскую» информацию, так и жестоко обмануться, но рассудит это лишь время и факты.

Тем не менее, вред от слухов абсолютно реален и без существования достаточных оснований им доверять. Особенно это ощутимо в чрезвычайных ситуациях. Показательный пример – это «охота на ведьм» во время взрыва на Бостонском марафоне, когда были пущены ложные слухи о внешности одного из террористов, а также об их количестве [2].

Вероятно, подобные случаи спровоцировали рост количества исследований на тему автоматического распознавания слухов и проверки их достоверности. Постановка задачи формулируется как задача классификации. В простейшем варианте слух (новость либо пост в соцсети) относится к «достоверным» либо «недостоверным». В более развитом варианте новости присваивается некоторый рейтинг или вероятность достоверности.

За последние четыре года наметились два основных направления в подходах к решению проблемы. Первое направление предсказывает достоверность слуха на основании содержания самого текста слуха. Для этого используются методы компьютерной лингвистики для определения так называемых признаков или маркеров слуха: длина в терминах количества слов, доля слов более шести символов и использование отрицаний, доля положительных и отрицательных слов эмоций и слов тревоги [3]. Затем при помощи статистических методов и методов регрессионного анализа на опытных данных вычислялись показатели маркеров, которые впоследствии применялись для прогнозирования достоверности слухов.

Второе направление исследований для прогнозирования достоверности использует разного рода контексты слуха, внешние источники. Поскольку подавляющее большинство публикаций посвящено анализу содержимого постов соцсетей, в особенности «Твиттера», то в качестве контекстов рассматриваются тема сообщения, дата и время, предшествующие посты. К примеру, в [4] рассматриваются конфликтующие точки зрения на одну новость, после чего все посты разбиваются на кластеры с применением алгоритма k-means. В [5] слухи отслеживаются на основании аномалий в поведении пользователей: комментарии, репосты, лайки, использование картинок и хэштегов, местоимений первого лица, смайлики и т.п. Эти признаки кодируются и используются в рекуррентной нейронной сети для обучения на опытных данных. В [6] так же используется нейронная сеть, но в качестве признака выступает время публикации поста, время появления актуальной новости, и отслеживаются изменения количества лингвистических маркеров слуха, на основании чего прогнозируется достоверность.

Описанные выше подходы позволяют разработать информационную систему, позволяющую в реальном времени давать оценку достоверности материала, который пользователь просматривает в браузере. Интерфейс к системе представляет собой расширение (плагин) браузера.

Алгоритм действий системы следующий:

- Пользователь открывает новость, которая вызвала у него подозрения. Этот шаг обязателен, так как в новостных изданиях часто используются «жареные» заголовки, которые могут вырывать фразу из контекста, придавая новости совершенно иной смысл, нежели тот, который доносится в теле статьи. На этом этапе даже сам пользователь может поменять своё отношение к новости, узнав, что же действительно имелось в виду.
- Пользователь запускает проверку, нажав на условную кнопку «проверить» в расширении браузера. Текст веб-страницы отправляется на сервер, где текст статьи извлекается из тегов с помощью регулярных выражений.
- Из текста выделяются одно или несколько утверждений, которые будут проверяться. Для выделения используются методы автореферирования.
- Полученные утверждения в качестве запросов отправляются в социальную сеть. На данном этапе разработки используется сеть «ВКонтакте». Результат запроса приходит на сервер в виде сообщений пользователей.
- Пул сообщений подвергается обработке. На данный момент разрабатываются два альтернативных метода.

Метод первый, основан на материалах статьи [2]:

- a) Выбираются сигнальные сообщения по наличию маркеров «аномалий» поведения: уточняющие вопросы и корректировки.
- b) Создаются сигнальные кластеры. Система кластеризует сигнальные посты на основе преобладающего содержания.
- c) Выявляются утверждения, описывающие каждый кластер.
- d) Выбираются не-сигнальные посты, соответствующие утверждениям, описывающим кластеры.
- e) Кластеры ранжируются на основании статистических метрик в порядке убывания вероятности, что утверждение – это слух.

Метод второй, основан на материалах статьи [4]:

- a) Моделируется корпус сообщений в виде коллекции пар тема + точка зрения;
- b) Вычисляются расстояния (Jensen-Shannon Distance) между парами одной темы, затем сравниваются с заранее заданным порогом, чтобы сформировать ограничения связей;
- c) Применяется алгоритм кластеризации для выделения конфликтующих точек зрения;
- d) Строится сеть из сообщений, которые будут связаны с поддерживающими и конфликтующими с ним сообщениями;
- e) Рассчитывается по сети финальный вывод на основании соотношения поддерживающих и конфликтных сообщений.

- Полученные результаты приводятся в понятный пользователю вид и выводятся в расширении браузера в виде процентной вероятности того, что прочитанной новости стоит доверять.

Для парсинга текстов новостей используется библиотека Yandex Mystem (<https://tech.yandex.ru/mystem/>). Вычисление метрик кластеров производится при помощи библиотеки SciKit Learn для языка Python.

### Библиографический список

1. *DiFonzo N., Bordia P.* Rumor Psychology: Social and Organizational Approaches. American Psychological Association, 2007 - P. 292.
2. *Zhao Z., Resnick P., Mei Q.* Enquiring Minds: Early Detection of Rumors in Social Media from Enquiry Posts// WWW 2015, May 18–22, 2015, Florence, Italy, pp. 1395-1405.
3. *Chua A.Y.K., Banerjee S.* Linguistic Predictors of Rumor Veracity on the Internet //Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2016, Vol I, pp.387-391.
4. *Jin Zh., Cao, J., Zhang Y., Luo J.* News Verification by Exploiting Conflicting Social Viewpoints in Microblogs // Proceedings of the Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-16), 2016, pp.2972-2978.
5. *W. Chen, Y. Zhang, Ch. K. Yeo, Ch. T. Lau, B. S. Lee.* Unsupervised rumor detection based on users behaviors using neural networks //Pattern Recognition Letters, Volume 105, 2017, pp. 226-233.
6. *Ma J., Gao W., Mitra P., Kwon S., Jansen B.J., Wong K., Cha M.* Detecting Rumors from Microblogs with Recurrent Neural Networks // Proceedings of the Twenty-Fifth International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-16), NY, USA, 9–15 July 2016, pp. 3818-3824.

## **INFORMATION SYSTEM FOR RUMOUR DETECTION IN MEDIA NEWS**

*Mitrofanova Victoria I., Bidulya Yuliya V.*

University Of Tyumen, 10 Semakova Street, Tyumen, Russia, 625003, bidulya@yandex.ru

The article discusses the aspects of developing an information system for verifying the authenticity of news information published on the Internet. An analysis of existing approaches presented in the scientific publication on this issue is made. It is shown that to evaluate the reliability of news it is necessary to use both linguistic characteristics of the text and external data, such as the date of publication, the topic, the order of publications, the peculiarities of user behavior. We offer a software solution for developing a plug-in to the browser that allows real-time evaluation of the reliability of news using social network materials and cluster analysis methods. Two variants of the evaluation are considered: on the basis of the anomalies of the behavior of users of the social network in the process of discussing the news and on the basis of an assessment of the ratio of supporting and refuting messages on the topic of news.

Keywords: intelligent system, natural language processing, cluster analysis, web-service, rumour detection

## ПОСТРОЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПЛИС

*Никифорова Ксения Вячеславовна, Данилова Екатерина Юрьевна*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, nikiforovaks96@yandex.ru

Данная работа посвящена построению генетического алгоритма для тестового дерева с обратной связью для диагностирования ПЛИС. ПЛИС используются во многих областях, сферы их применения со временем всё расширяются и расширяются, это и приводит к усилению проблемы их диагностирования. Существует множество алгоритмов построения диагностических последовательностей или диагностических деревьев. В их числе и различные генетические алгоритмы, которые могут быть модифицированы по сравнению с классическим генетическим алгоритмом. Для того чтобы построить тестовую последовательность, был использован генетический алгоритм с обратной связью, чтобы разбиение было более эффективным. В статье описано кодирование особи в генетическом алгоритме для построения тестового дерева с обратной связью.

Ключевые слова: ПЛИС, диагностирование, тестовое дерево, дерево с обратной связью, генетический алгоритм.

Области применения ПЛИС разнообразны. В настоящее время ПЛИС используются для систем на основе встраиваемых микроконтроллеров, для цифровой обработки информации, для систем с перестраиваемой архитектурой [1]. На ПЛИС часто изготавливаются микропрограммные автоматы и другие специализированные устройства, например, цифровые фильтры, схемы обработки сигналов и т.д. [2]. При этом появление тех или иных ошибок в работе ПЛИС случается часто и почти независимо от области применения ПЛИС. Поэтому диагностирование ПЛИС является важной задачей во многих сферах.

Диагностирование ПЛИС – процесс обнаружения отказа, нахождения места его появления и определение вида этого отказа [3]. Диагностирование проводится с помощью специальной последовательности входных тестов, которая называется диагностической или тестовой последовательностью. Если представить все места и виды отказов в виде множества, то последовательность тестов должна разбивать это множество на отдельные элементы, а дерево – это фактически то, каким образом это разбиение происходит. Создание оптимальной тестовой последовательности – NP-полная задача, поэтому для её решения используются различные эвристические методы, в том числе ГА.

Ранее была успешная попытка использовать ГА и для построения тестового дерева. Пример тестового дерева изображён на Рис. 1.

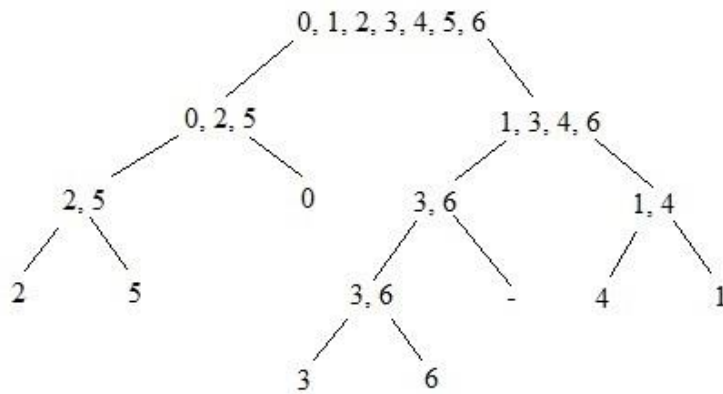


Рис. 1. Тестовое дерево

В большинстве источников [4-5] используются алгоритмы, создающие именно такие деревья. При этом некоторый входной набор, применённый ко всем узлам дерева на  $k$ -ом уровне, может не подразбить часть из узлов, для других сделать разбиение не очень эффективным и лишь для некоторых сделать эффективное разбиение. Возможна ситуация, когда любой из ещё не применённых наборов будет давать такой же результат.

Отсюда возникает идея о том, что можно подавать свой тестовый набор на каждый из узлов дерева, независимо от других узлов уровня. Подобные алгоритмы построения тестовой последовательности называются алгоритмами с обратной связью, а построенные ими тестовые деревья – деревьями с обратной связью. Пример дерева с обратной связью изображён на Рис. 2.

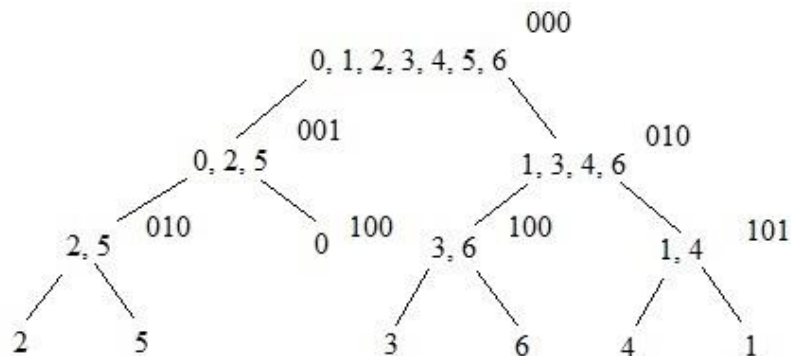


Рис. 2. Тестовое дерево с обратной связью

Для создания ГА необходимо разработать кодирование особи, в котором будет храниться вся последовательность, подаваемая на вход ПЛИС на каждом узле дерева. В качестве такого кодирования можно использовать список, состоящий из тройки:  $(level, path, value)$ , где  $level$  – уровень, на котором подаётся на вход значение,  $path$  – номер ветви на уровне, а  $value$  – значение, которое подаётся на вход переведённое в десятичное число.

Кодирование: нулевой входной набор один, он кодируется тремя значениями:  $(0\ 0\ a_{0,0})$ , где  $a_{0,0}$  – некоторое двоичное число, представленное в десятичном виде. На последующих уровнях для каждого узла текущего уровня появляются по два новых узла, то есть те входные наборы, которые будут поданы при результатах 0 и 1. На  $k$ -ом уровне будет  $2^k$  узлов, каждый из которых будет закодирован в виде  $(k\ i\ a_{k,i})$ . Например, используя Рис. 2, особь можно представить в виде: 0-ой уровень –  $(0\ 0\ 0)$ ; 1-ый уровень –  $(1\ 0\ 1)$ ;  $(1\ 1\ 2)$ ; 2-ой уровень –  $(2\ 0\ 2)$ ;  $(2\ 1\ 4)$ ;  $(2\ 2\ 4)$ ;  $(2\ 3\ 5)$ .

Декодирование: нулевой входной набор один и он определяется  $value$  из первой тройки закодированной последовательности. На  $k$ -ом шаге есть последовательность выходов  $(\alpha_0, \dots,$

$\alpha_{k-1}$ ). Представим эту последовательность, как двоичную запись десятичного числа  $i$ . Для определения нужного входного набора выбирается тройка  $(k, i, a_{k,i})$ . Искомый набор – это двоичная запись числа  $a_{k,i}$ . Например, если рассмотреть кодирование дерева на Рис. 2, процесс выбора входных наборов будет таковым: берём (0 0 0) – это нулевая вершина дерева на нулевом уровне, у которой на вход подаётся 000. В случае получения выхода (0), берём (1 0 1) – это нулевая вершина на первом уровне, у которой на вход подаётся 001 и т.д.

Генерирование особи происходит автоматически. В случае если какая-то ветвь не разбилась, когда ей на вход подавалось какое-то значение, всё равно происходит переход на следующий уровень, но этой ветви подаётся на вход то значение, которое предназначено для левой ветви этого узла.

Такой способ кодирования позволяет применять практически стандартные способы скрещивания и мутации. Единственным отличием является то, что геном в данном случае является не один бит, как это происходит в каноническом алгоритме [6], а вся тройка.

Таким образом, при скрещивании точки разрыва могут лежать только между тройками. Берутся две особи. У них выбирается какая-то точка между тройками, и по ней происходит обмен частями. Пример можно посмотреть на Рис. 3.

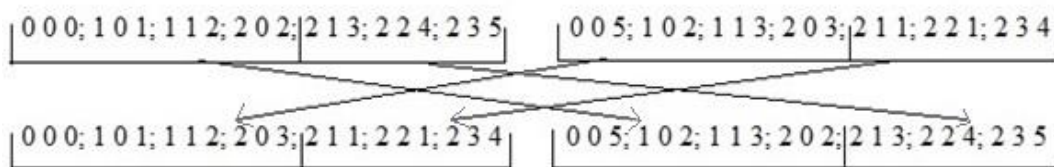


Рис.3. Скрещивание

Мутация может происходить только в части *value*. Берётся особь, выбирается вершина, в ней переводится значение из десятичной системы в двоичную, выбирается точка и инвертируется её значение, далее просто переводится значение обратно в десятичную систему. Пример представлен на Рис. 4.

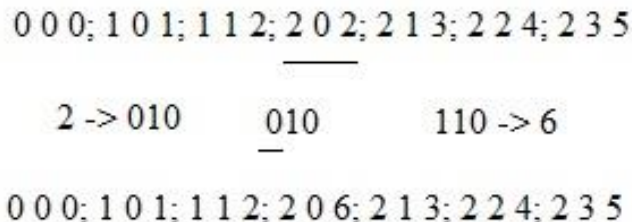


Рис. 4. Мутация

### Библиографический список

1. Определение ПЛИС. Области применения современных ПЛИС. История развития. Заказные и полузаказные микросхемы. [Электронный ресурс]URL: <http://megapredmet.ru/1-46032.html> (дата обращения: 22.03.2018).
2. Современные ПЛИС, классификация, структура. [Электронный ресурс]URL:<http://stud.izhdv.ru/msch/23.htm> (дата обращения: 20.03.2018).
3. Городилов А.Ю. Методы и алгоритмы диагностирования и реконфигурации логики высоконадёжных ПЛИС: диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук - Пермь, 2016.
4. Иванов Д.Е. Генетические алгоритмы построения входных идентифицирующих последовательностей цифровых устройств – Донецк, 2012 – 242 с.
5. Скобцов Ю.А., Скобцов В.Ю. Логическое моделирование и тестирование цифровых устройств – Донецк, 2005 – 436 с.
6. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. Boston, MA: MIT Press, 1992. 211 с.

## **BUILDING A GENETIC ALGORITHM WITH FEEDBACK FOR DIAGNOSIS FPGA**

*Nikiforova Kseniya V., Danilova Ekaterina Y.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, nikiforovaks96@yandex.ru

This work is devoted to the construction of a genetic algorithm for a test tree with feedback for diagnosing FPGAs. FPGAs are used in many fields, their applications are expanding and expanding over time, this leads to an increase in the problem of their diagnosis. There are many algorithms for constructing diagnostic sequences or diagnostic trees. Among them there are various genetic algorithms that can be modified in comparison with the classical genetic algorithm. In order to build a test sequence, a genetic algorithm with feedback was used to make the partitioning more efficient. The article describes the coding of an individual in a genetic algorithm for constructing a test tree with feedback.

Keywords: FPGA, diagnosis, test tree, tree with feedback, genetic algorithm.



## РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ МОБИЛЬНОЙ АВТОМОЙКИ

*Никулин Егор Борисович*

Пермский Филиал Федерального Государственного Автономного Образовательного Учреждения Высшего Образования «Национальный Исследовательский Университет «Высшая Школа Экономики», 614060, Россия, г. Пермь, ул. Бульвар Гагарина, 37а, nikulin.eb@gmail.com

Технология безводной мойки автомобилей позволяет компании предоставлять эту услугу в удобном для клиента месте. Однако с большим количеством клиентов получение и обработка заказов и назначение автомойщиков на заказы становится затруднительным. Целью данного исследования является разработка требований к системе для автоматизации бизнес-процессов компании, оказывающей услуги выездной автомойки. В первую очередь в статье приводится краткий обзор литературы, которая необходима для моделирования бизнес-процессов и разработки требований к системе. Затем выполняется моделирование бизнес-процессов с помощью формального языка Business Process Model and Notation. На основе анализа модели бизнес-процессов разрабатываются требования к системе. Данная статья может быть полезна в качестве примера анализа бизнес-процессов и определения требований к программному обеспечению.

Ключевые слова: модель, бизнес-процесс, автоматизация, система, требования.

### **Введение**

По данным статистики [1] 46% населения России выходят в интернет со смартфонов. Вместе с этим, наблюдается снижение использования стационарных компьютеров для выхода в интернет и увеличение доли смартфонов на 15% в год. Распространение смартфонов меняет привычные способы делать покупки, так как у потребителя появляется возможность заказывать товары и услуги не только с персонального компьютера через сайт компании, но и с помощью приложения на смартфоне. Это привело к тому, что наличие и удобство мобильного приложения стали одними из важнейших критериев потребительского выбора наряду с ценой, расположением и прочим.

Компании стараются быть современными и технологичными, чтобы не потерять потенциальных клиентов и оставаться конкурентоспособными на рынке. Множество фирм, которые раньше оказывали свои услуги только при личном контакте с потребителем, теперь взаимодействуют с клиентом дистанционно благодаря интернету и мобильным приложениям. Например, приложения банков позволяют выполнять денежные переводы, платежи за коммунальные услуги и многое другое. Более того, многие компании создают мобильные приложения не только для продажи услуг или товаров, но и для построения долгосрочных отношений с клиентом, повышения его лояльности к бренду, удержания и увеличения количества его заказов.

Объектом данной работы является компания, оказывающая услуги выездной автомойки. Предмет – автоматизация бизнес-процессов компании.

Целью данной работы является разработка функциональных требований к системе для автоматизации бизнес-процессов компании, оказывающей услуги выездной автомойки.

### **Обзор литературы**

Цель обзора литературы - поиск и анализ источников, необходимых для реализации проекта. Этот обзор содержит резюме источников, которые необходимы для изучения и визуализации бизнес-процессов компании, а также для составления требований к системе.

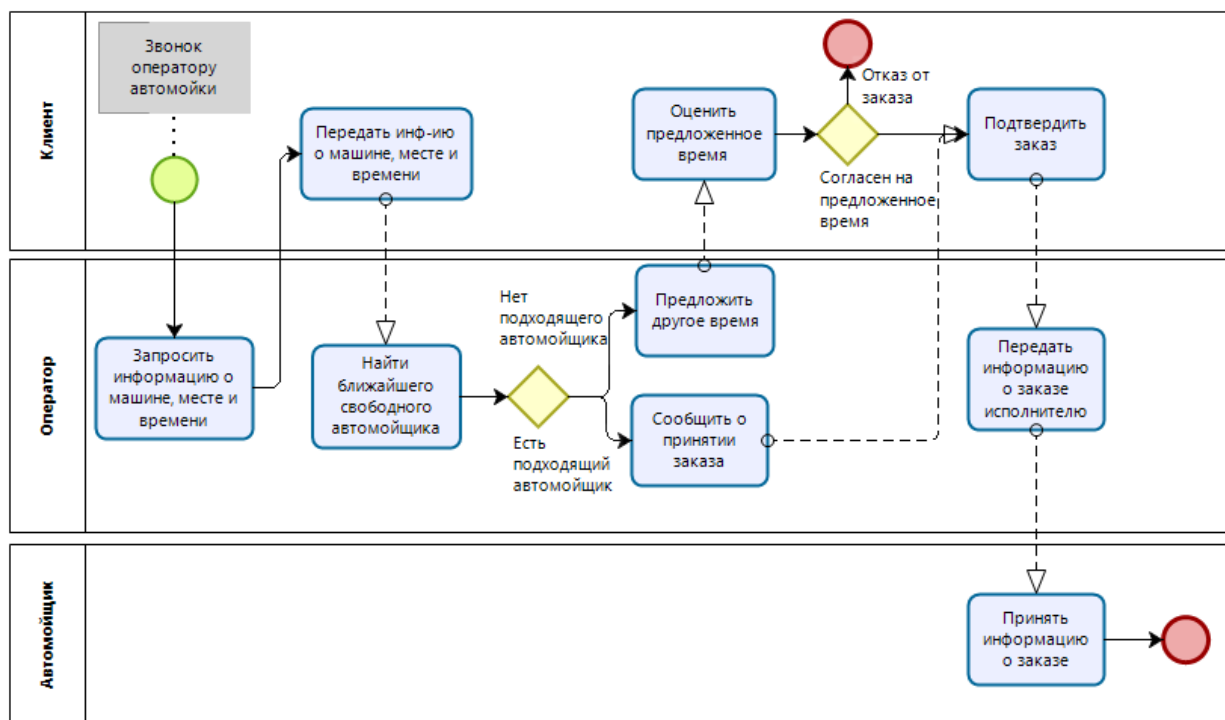
В статье [2] описывается, какую выгоду приложения могут принести бизнесу и как создать ее с помощью приложения. Статья основана на реальных данных нескольких компаний. Из этих данных авторы извлекают способы создания полезного приложения для бизнеса и определяют индикаторы для измерения этой пользы. Во-первых, эта статья помогает объяснить необходимость и актуальность разработки приложения для мобильной мойки. Во-вторых, результаты статьи будут использованы для создания полезного приложения для бизнеса.

Автоматизация бизнес-процессов является основной целью разрабатываемой системы. Система должна заменить оператора для принятия заказов, поиска и назначения автомойщика и планирования его маршрута. Поэтому перед описанием требований к системе необходимо создать модель бизнес-процессов компании. Для этого используется формальный язык Business Process Model and Notation (BPMN). В статье [3] описываются типичные ошибки и проблемы при построении моделей бизнес-процессов. А также приводятся пять способов избежать этих проблем.

После моделирования бизнес-процессов компании можно приступить к определению требований к системе. Качество и полезность программного обеспечения зависят от ясности и конкретности требований. Кроме того, четкие требования к программному обеспечению полезны для представления результатов и защиты проекта. Одной из проблем при определении требований является неточность и двусмысленность терминов, определений и фраз. Статья [4] описывает различные типы неопределенностей в описании требований. В ней представлены различные подходы и инструменты для формализации требований к программному обеспечению.

### **Анализ бизнес-процессов и разработка требований**

Особенность автомойки выездного типа заключается в ее выездном характере. Это возможно благодаря особому способу мойки, который позволяет работникам быть мобильными и мыть автомобиль в любом месте. Алгоритм работы выездной автомойки при поступлении заказа представлен на диаграмме, созданной согласно нотации BPMN (Рис.).



**Рис. Модель бизнес-процесса компании: прием заказа**

Исходя из описанных процессов можно выделить начальные функциональные требования к системе:

1. Клиентское приложение для заказа услуг должно:
  - 1.1. Определять местоположение клиента и отображать его на карте.
  - 1.2. Позволять клиенту самостоятельно выбрать на карте местоположение автомобиля, где необходимо выполнить мойку.
  - 1.3. Запросить у клиента ввод государственного регистрационного номера, марки, модели автомобиля; выбор вида услуги, точного времени или временного диапазона для выполнения мойки.
  - 1.4. Предоставлять информацию о видах и стоимости услуг.
  - 1.5. Принимать оплату с банковской карты.
2. Приложение автомойщика должно:
  - 2.1. Определять местоположение работника и отображать его на карте.
  - 2.2. Предоставлять информацию о назначенных заказах: время, местоположение, вид услуги, данные об автомобиле.
  - 2.3. Отображать на карте местоположение следующего заказа.
  - 2.4. Отображать на карте оптимальный путь до следующего заказа.
3. Серверное приложение должно:
  - 3.1. Принимать от клиентского приложения информацию о заказе.
  - 3.2. Проверять возможность оказания услуги в указанном клиентом месте и в указанное время и возвращать результат клиентскому приложению.
  - 3.3. Подбирать ближайшего свободного специалиста для выполнения заказа.
  - 3.4. Передавать назначенному специалисту информацию о заказе.
  - 3.5. Планировать оптимальный путь специалиста до места выполнения заказа.

### Заключение

Эта работа была направлена на разработку требований к системе для автоматизации бизнес-процессов компании. Во-первых, в статье приведен обзор литературы, необходимой для реализации проекта. Были изучены некоторые источники для анализа бизнес-процессов

компании и определения требований. На основе анализа бизнес-процессов компании были разработаны первоначальные требования к системе. Далее планируется приступить к проектированию и разработке системы.

### **Библиографический список**

1. Аудитория пользователей интернета в России в 2017 году составила 87 млн. человек // Анализ рекламы: сравнительный анализ рынка рекламы в России – Mediascope. URL: <http://mediascope.net/press/news/744498/> (дата обращения: 09.03.2018).
2. *Ehrenhard, M., Wijnhoven, F., van den Broek, T., Zinck Stagno, M.* (2017). Unlocking how start-ups create business value with mobile applications: Development of an App-enabled Business Innovation Cycle. *Technological Forecasting & Social Change*, 115, 26-36. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.09.011>
3. *Leopold, H., Mendling, J., & Günther, O.*, (2016). Learning from Quality Issues of BPMN Models from Industry. *IEEE Software*, 33(4), 26-33. doi: 10.1109/MS.2015.81
4. *Shah, U. S., & Jinwala, D. C.* (2015). Resolving Ambiguities in Natural Language Software Requirements: A Comprehensive Survey. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 40(5), 1-7. doi:10.1145/2815021.2815032

### **CAR WASH ORDER RECEPTION, PROCESSING AND OPTIMIZATION INFORMATION SYSTEM DEVELOPMENT**

*Nikulin Egor B.*

National Research University Higher School of Economics, 37a, Bulvar Gagarina st., Perm, 614060, Russia, [nikulin.eb@gmail.com](mailto:nikulin.eb@gmail.com)

The technology of waterless car washing allows the company to provide this service in a place that convenient for the client. However, with a large number of clients receiving and processing orders and assigning car washers to orders become difficult. The purpose of this study is to develop requirements for the system for automation of the business processes of the company that provides car wash services. First of all, the article provides a brief review of the literature that is necessary for modelling business processes and developing requirements for the system. Then, business processes are modelled using the formal Business Process Model and Notation language. Based on the analysis of the business process model, the system requirements are developed. This article can be useful as an example of analyzing business processes and determining requirements for software.

Keywords: model, business-process, automation, software, requirements.

## ОПТИМАЛЬНАЯ КОРРЕКЦИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ВРАЩЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ПО КРИТЕРИЯМ «МИНИМУМ ЭНЕРГИИ» И «МИНИМУМ СИЛЫ»

*Овчинников Владимир Александрович, Лутманов Сергей Викторович*

Пермский Национальный Исследовательский Государственный Университет, Россия, 614990,  
г.Пермь, ул. Букерева, 15 88552200@rambler.ru; (342)239-63-09

В работе решена задача коррекции вращения относительно неподвижной точки управляемого абсолютно твердого тела. Возмущение вращения возникает в результате не точного выполнения начальных условий. Динамика возмущений моделируется системой обыкновенных линейных дифференциальных уравнений, представляющих собой линеаризованные уравнения исходной нелинейной системы в окрестности пары «базовое решение, базовое управление». Управления, осуществляющие коррекцию, являются оптимальными в смысле критериев «минимум энергии» и «минимум силы». Их построение производится методом моментов на основе принципа максимина Н. Н. Красовского [1]. Проведен сравнительный анализ полученных решений по указанным критериям. Результаты исследований проиллюстрированы численно на конкретном примере. Показано совпадение численных результатов с теоретически ожидаемыми результатами. Приводятся графики оптимальных программных управлений. Данная статья является продолжением работы [3].

Ключевые слова: базовое движение, возмущенное движение, линеаризованная модель, оптимальное управление, программное управление.

### **Введение**

В данной работе исследуется управляемое твердое тело, вращающееся относительно неподвижной точки. Исследование производится в соответствии с методикой, представленной в статье [2] и содержит следующие пункты:

- вывод дифференциальных уравнений движения управляемого динамического объекта;
- подбор базового кинематического закона движения тела, удовлетворяющего заданным формализованным требованиям;
- решение обратной задачи динамики по нахождению программного управления, реализующего базовый закон движения тела;
- построение линеаризованных дифференциальных уравнений управляемого движения в окрестности базового кинематического закона, описывающих динамику возмущений;
- решение задачи оптимального управления по обнулению возмущений по критерию «минимум энергии» и «минимум силы»;
- проверка качества полученных управлений для исходной нелинейной модели вращения твердого тела относительно неподвижной точки.
- сравнительный анализ управления линейной системой по критерию «минимум энергии» и «минимум силы»

## 1. Описание модели и постановка задачи.

Абсолютно твердое тело вращается относительно неподвижной точки  $O$  (см. **рис. 1**). С телом связана подвижная система координат  $Oxyz$ , оси которой совпадают с главными осями инерции. Тензор инерции тела и вектор мгновенной угловой скорости в этой системе координат имеют вид

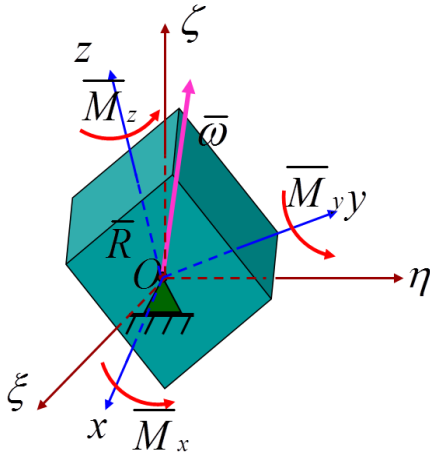


Рис. 1: Чертеж твердого тела

$$I = \begin{pmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{pmatrix}, \quad \bar{\omega} = \begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix}.$$

К телу приложен управляющий момент

$$\bar{M} = \begin{pmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{pmatrix}.$$

Положение тела относительно неподвижной системы координат  $O\xi\eta\zeta$  определяется углами Эйлера  $\varphi, \psi, \theta$ .

Дифференциальные уравнения движения тела, разрешенные относительно производных имеют вид [4]

$$\begin{aligned} \dot{p} &= P(q, r, M_{Ox}), & \dot{\varphi} &= \Phi(p, q, \varphi, \theta), \\ \dot{q} &= Q(p, r, M_{Oy}), & \dot{\psi} &= \Psi(p, q, \varphi, \theta), \\ \dot{r} &= R(p, q, M_{Oz}), & \dot{\theta} &= \Xi(p, q, \varphi), \end{aligned} \quad (1.1)$$

где

$$\begin{aligned} P(q, r, M_{Ox}) &= -\frac{C-B}{A}qr + \frac{1}{A}M_{Ox}, & \Phi(p, q, \varphi, \theta) &= -p\sin\varphi\operatorname{ctg}\theta - q\cos\varphi\operatorname{ctg}\theta + r, \\ Q(p, r, M_{Oy}) &= -\frac{A-C}{B}rp + \frac{1}{B}M_{Oy}, & \Psi(p, q, \varphi, \theta) &= q\frac{\cos\varphi}{\sin\theta} + p\frac{\sin\varphi}{\sin\theta}, \\ R(p, q, M_{Oz}) &= -\frac{B-A}{C}pq + \frac{1}{C}M_{Oz}, & \Xi(p, q, \varphi) &= p\cos\varphi - q\sin\varphi \end{aligned}$$

Задано начальное  $\varphi_0, \psi_0, \theta_0, \dot{\varphi}_0, \dot{\psi}_0, \dot{\theta}_0$  и конечное  $\varphi_1, \psi_1, \theta_1, \dot{\varphi}_1, \dot{\psi}_1, \dot{\theta}_1$  положение тела в углах Эйлера и их производных. Управление объектом производится на промежутке времен  $[t_0, T]$

В работе решаются следующие задачи.

**Задача 1.** Определить программное управление  $\tilde{v}(\cdot)$ , реализующее базовое вращение тела.

**Задача 2.** В случае не соблюдения начальных условий построить дополнительное управление  $u(\cdot)$ , обеспечивающее возвращение тела на базовый закон движения.

Задача 2 дополняется требованием оптимальности программного управления, решающего эту задачу, по критериям «минимум энергии» и «минимум силы» [1].

## 2. Решение поставленных задач

Базовый закон движения задается в виде

$$\hat{\varphi}(t) = a_{3\varphi}t^3 + a_{2\varphi}t^2 + a_{1\varphi}t + a_{0\varphi},$$

$$\begin{aligned}\hat{\psi}(t) &= a_{3\psi}t^3 + a_{2\psi}t^2 + a_{1\psi}t + a_{0\psi}, \\ \hat{\theta}(t) &= a_{3\theta}t^3 + a_{2\theta}t^2 + a_{1\theta}t + a_{0\theta},\end{aligned}\tag{2.1}$$

где коэффициенты  $a_{i\varphi}, a_{i\psi}, a_{i\theta}$  выбраны так, чтобы выполнялись условия

$$\begin{aligned}\hat{\varphi}(0) &= \varphi_0, \hat{\varphi}(1) = \varphi_1, \dot{\hat{\varphi}}(0) = \dot{\varphi}_0, \dot{\hat{\varphi}}(1) = \dot{\varphi}_1, \\ \hat{\psi}(0) &= \psi_0, \hat{\psi}(1) = \psi_1, \dot{\hat{\psi}}(0) = \dot{\psi}_0, \dot{\hat{\psi}}(T) = \dot{\psi}_1, \\ \hat{\theta}(0) &= \theta_0, \hat{\theta}(T) = \theta_1, \dot{\hat{\theta}}(0) = \dot{\theta}_0, \dot{\hat{\theta}}(T) = \dot{\theta}_1.\end{aligned}\tag{2.2}$$

Программное управление, решающее задачу 1, строится путем подстановки закона (2.1) в уравнения (1.1) и разрешения их относительно управлений  $M_{Ox}, M_{Oy}, M_{Oz}$ . В дальнейшем это управление будем называть базовым.

Для решения задачи 2 производится линеаризация системы дифференциальных уравнений (2.1) в окрестности пары «базовый закон движения, базовое управление». В результате приходим к линейному управляемому динамическому объекту, описываемому системой обыкновенных дифференциальных уравнений шестого порядка

$$\dot{x} = A(t)x + B(t)u,$$

где  $x \in R^6$  - фазовый вектор объекта с высокой степенью точности, описывающий поведение возмущений исходного нелинейного динамического объекта,  $u \in R^3$  - вектор дополнительных управляющих параметров,  $A(t) \div 6 \times 6$  и  $B(t) \div 6 \times 3$  - матрицы, непрерывные по времени, получающиеся путем дифференцирования правых частей (1.1) по каждому из аргументов и вычисленных в силу пары «базовый закон движения, базовое управление».

Далее определяется программное управление  $u(t), t \in [t_0, T]$ , переводящее фазовый вектор линейного объекта из начального положения  $x(t_0)$ , совпадающего с начальным возмущением базового движения, в начало координат. В результате закон возмущенного движения совмещается с базовым законом. На полученное управление налагается требование оптимальности в одном случае по критерию «минимум энергии» с функционалом

$$I^{эн} [u^{эн}(\cdot)] = \left[ \int_{t_0}^T \langle u^{эн}(\tau), u^{эн}(\tau) \rangle d\tau \right]^{\frac{1}{2}} = \min_{u(\cdot)} \left[ \int_{t_0}^T \langle u(\tau), u(\tau) \rangle d\tau \right]^{\frac{1}{2}},$$

в другом случае по критерию «минимум силы».

$$I^{сил} [u^{сил}(\cdot)] = \text{vrai max}_{\tau \in [t_0, T]} \|u^{сил}(\tau)\| = \min_{u(\cdot)} \left[ \text{vrai max}_{\tau \in [t_0, T]} \|u(\tau)\| \right].$$

Построение оптимальных управлений производится методом моментов на основе принципа максимина Н. Н. Красовского [1].

В результате расчетов было показано, что каждый диагональный элемент в приведенной таблице (Таблица 1)

Таблица 1

Управления $u(\cdot)$	Функционалы $I[u(\cdot)]$	
	Минимум энергии $I^{эн} [u(\cdot)]$	Минимум силы $I^{сил} [u(\cdot)]$
Минимум энергии	$I^{эн} [u^{эн}(\cdot)]$	$I^{сил} [u^{эн}(\cdot)]$

$u^{эп}(t)$		
Минимум силы $u^{суп}(t)$	$I^{эп}[u^{суп}(\cdot)]$	$I^{суп}[u^{суп}(\cdot)]$

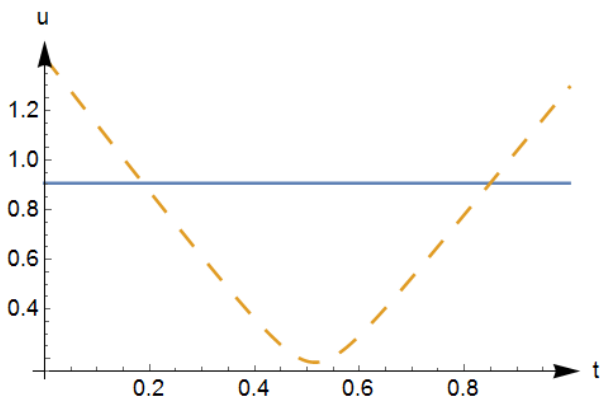
является наименьшим в своем столбце, а также установлено выполнение теоретического равенства

$$I^{эп}[u^{суп}(\cdot)] = \sqrt{T-t_0} \cdot I^{суп}[u^{суп}(\cdot)].$$

Построен совместный график (см. рис. 2) функций  $\|u^{суп}(\cdot)\|, \|u^{эп}(\tau)\|$  на промежутке  $[t_0, T]$ , иллюстрирующий неравенство

$$\|u^{суп}(t)\| \leq \operatorname{vrai} \max_{\tau \in [t_0, T]} \|u^{эп}(\tau)\|, \quad t \in [t_0, T].$$

Графики норм оптимальных программных управлений



Проверка выхода возмущенного движения на базовое движение в результате применения дополнительного управления была проведена визуально на графиках.

Рис 2: Графики норм

### Библиографический список

1. Красовский Н. Н. Теория управления движением. – М.: Наука, 1968. – 476 с.
2. Лутманов С. В. Об одной методике исследования управляемой динамической системы // Вестник Пермского университета, Математика, Механика, Информатика, Вып. 1. (36), Пермь, 2017, С. 13-20.
3. Лутманов С. В., Овчинников В. А. Оптимальная коррекция движения твердого тела, вращающегося относительно неподвижной точки // Проблемы механики и управления. Межвуз. Сб. науч. трудов, вып. 49, Пермь, 2017, С. 37-50.
4. Маркеев А. П. Теоретическая механика. – М.: Наука, 1990.— 414 с.



## **OPTIMAL CORRECTION OF SPHERICAL ROTATION OF A SOLID BODY BY CRITERIA "MINIMUM OF ENERGY" AND "MINIMUM OF POWER"**

*Ovchinnikov Vladimir A., Lytmanov Sergey V.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, 88552200@rambler.ru

The task of correction of rotation of the management absolutely solid body of relatively immobile point is in-work decided. Indignation of rotation arises up as a result of not exact implementation of initial conditions. The dynamics of indignations is modeled by the system of usual linear differential equalizations, being the linearized equalizations of the initial nonlinear system in the vicinity of pair "base decision, base management". Managements, carrying out a correction, are optimal in sense of criteria a "minimum of energy" and a "minimum of force". Their construction is produced by the method of moments on the basis of principle of maximin of N. N. Krasovskii [1]. The comparative analysis of the got decisions is conducted on the indicated criteria. The results of researches are illustrated numeral on a concrete example. The coincidence of numeral results is shown with the results expected in theory. Charts over of norms of optimal programmatic managements are brought. This article is continuation of work [3]

Keywords: basic motion, perturbed motion, linearized model, optimal control, program control.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ ПОСЕЩАЕМОСТИ

*Огурецкая Анна Игоревна, Соловьева Татьяна Николаевна*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, mimiru9@yandex.ru

В статье представлен один из возможных подходов к реализации контроля посещаемости занятий с помощью средств информационно-коммуникационных технологий. Предлагаемый подход отличается от известных тем, что процесс регистрации, присутствующих на занятии (в аудитории), осуществляется с помощью электронной почты с минимальными затратами времени и усилий преподавателя, так как максимально автоматизирован. Преподаватель (или лаборант) отправляет на e-mail групп письмо с прикрепленным регистрационным файлом MS Excel. Предусмотрены два способа регистрации: первый – регистрируемый открывает файл MS Excel, заполняет указанные ячейки на листе MS Excel и отправляет его обратно со своей электронной почты; второй – регистрируемый студент со своей электронной почты отправляет обратно письмо, текст которого заполняет по шаблону. Специально разработанное приложение собирает присланные ответы в ведомость учета посещаемости.

Ключевые слова: учебный процесс, посещаемость учебных занятий, контроль посещаемости учебных занятий, автоматизация контроля посещаемости учебных занятий.

Известно, что посещаемость занятий определяет успеваемость обучаемого [1,2]. Однако контроль посещаемости занятий – один из самых затратных по времени процессов на занятии. Применяв информационно-коммуникационные технологии, можно максимально автоматизировать этот процесс и, следовательно, минимизировать время и усилия преподавателя, затрачиваемые на контроль посещаемости. Для этого разработано описываемое приложение, использующее электронную почту как средство коммуникации.

Данные на входе: названия групп и списки групп из ЕТИС, e-mail их почтовых ящиков.

На выходе: при регистрации – списки зарегистрированных в приложении студентов, отсортированные по группам; при контроле посещаемости – списки присутствующих на занятии (таблицы учета посещаемости).

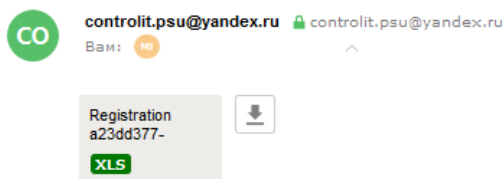
Функционирование – регистрация студентов в приложении.

При знакомстве с группой или потоком преподаватель получает от старост e-mail почтовых ящиков групп и инструктирует студентов с помощью презентации.

К следующему занятию преподаватель (или лаборант) отправляет на e-mail групп письмо с прикрепленным регистрационным файлом MS Excel (см. рис. 1).

Письмо содержит подробную инструкцию для студента, следуя которой он будет зарегистрирован в приложении (в дальнейшем – на занятии).

## Регистрация



Уважаемые студенты!

Для дальнейшей работы необходимо заполнить регистрационную форму. Вы можете пройти регистрацию одним из двух способов.

1 способ. Заполнение формы в Excel-файле.

- 1.1. Скачайте и откройте регистрационный файл, прикрепленный к этому письму.
- 1.2. Следуйте инструкции в регистрационном файле.
- 1.3. Отправьте заполненный регистрационный файл как приложение к письму со своей почты по адресу [controlit.psu@yandex.ru](mailto:controlit.psu@yandex.ru).

2 способ. Заполнение шаблона в тексте письма.

- 2.1. Скопируйте данный шаблон:

Группа: a23dd377-c7e2-451b-bcd9-318bc35a9458

Фамилия:

Имя:

Отчество:

- 2.2. Откройте свою почту и зайдите в создание нового письма.
- 2.3. В текст письма вставьте скопированный шаблон.
- 2.4. Заполните шаблон по примеру:

Группа: f4431d9d-3307-4835-95fd-d3bb1e4f82aa

Фамилия: Иванов

Имя: Иван

Отчество: Иванович

- 2.5. Отправьте письмо с заполненным шаблоном по адресу [controlit.psu@yandex.ru](mailto:controlit.psu@yandex.ru).

### Рис. 1 Письмо с инструкцией и регистрационным файлом

Предусмотрены два способа регистрации:

первый способ – регистрируемый студент открывает прикрепленный файл MS Excel, заполняет три выделенных ячейки (фон – желтый цвет) на листе MS Excel (см. рис. 2) и отправляет его со своей электронной почты по указанному в письме с инструкцией адресу;

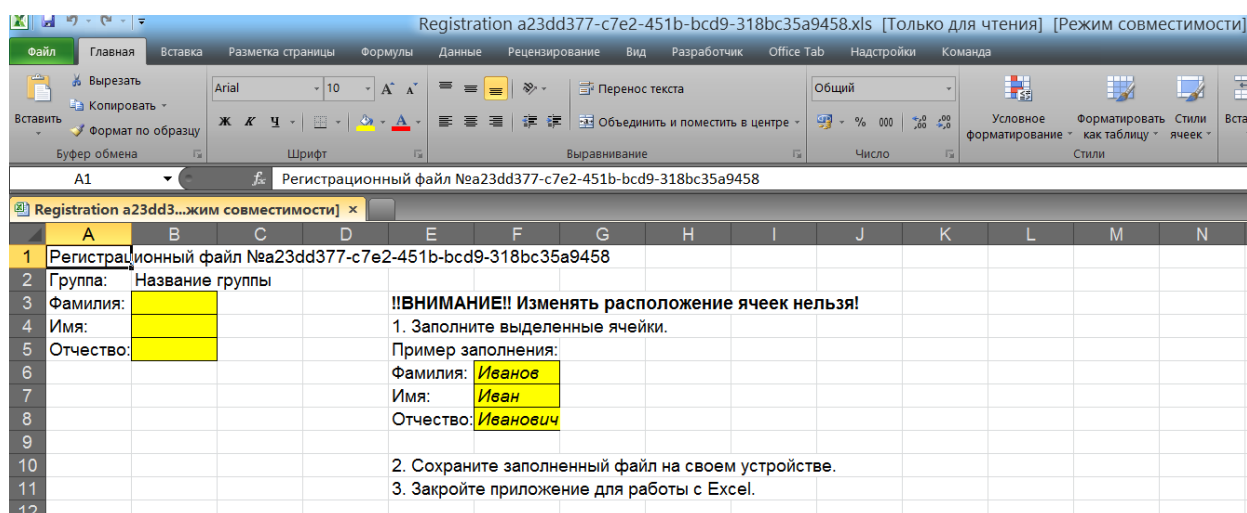
второй способ – регистрируемый студент со своей электронной почты отправляет по указанному адресу письмо, текст которого заполняет по шаблону, приведенному в письме с инструкцией.

Студент в ответ получит сообщение о результате регистрации.

В случае если регистрация не прошла успешно или в указанных студентом данных была допущена ошибка, студент может повторно отправить письмо с корректными данными одним из двух вышеописанных способов.

Приложение собирает присланные письма от студентов, обрабатывает указанные в них данные, сортирует студентов, приславших письма, по группам и создает ведомости (таблицы) учета посещаемости.

Функционирование – контроль посещаемости. На занятии студент обязательно должен иметь с собой мобильное устройство (смартфон, ноутбук, ...). Контроль присутствия студента на занятии выполняется точно также как при регистрации.



**Рис. 2 Регистрационный файл**

Полученное от студента письмо приложение снабжает датой и временем, а затем сохраняет в ведомость учета посещаемости соответствующей группы.

### **Библиографический список**

1. *Архангельский С.И.* Лекции по теории обучения в высшей школе. М. : Высш. школа, 1974. – 384 с.
2. *Беспалько В.П.* Природосообразная педагогика. М.: Народное образование, 2008. – 512 с.

## **ATTENDANCE CONTROL AUTOMATION**

*Oguretskaya Anna I., Solovyeva Tatiana N.*

Perm State University, 15, Bukireva St., Perm, 614990, Russia, mimiru9@yandex.ru

Abstract. The article presents one of the possible approaches to monitoring the attendance using information and communication technologies. The proposed approach differs from the known ones. Our approach registration process of students is carried out using e-mail. It minimizes the time and effort spent by the teacher, since it is maximally automated. The teacher (or laboratory technician) sends a letter to the group e-mails with an attached MS Excel registration file. There are two ways to register. The first way is the registered student opens the MS Excel file, fills the indicated cells on the MS Excel sheet and sends it back from his email. The second way is the registered student from his email sends back the letter, the text of which fills the template. A specially developed application collects the responses sent to the attendance record.

Keywords: educational process, attendance, attendance control, attendance control automation.

## МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ ПРОГРАММНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

*Синицына Татьяна Игоревна*

Высшая Школа Экономики, 614070, Россия, г. Пермь, ул. Студенческая, д. 38,  
tisinityna@edu.hse.ru

Данная работа посвящена изучению способов проверки программной документации. Цель исследования работы состоит в изучении различных способов проверки документов и поиска оптимизированного набора методов и критериев для автоматизации проверки документации. Задачами работы являются анализ статей с похожей проблематикой, выделение методов, описанных в статьях, и формирование на их основе алгоритма проверки документации. В качестве изучаемых областей исследования были рассмотрены области медицины, программных и технических продуктов. Выбор обусловлен схожими логическими и семантическими структурами документов. В статьях, посвящённых выбранным областям, изучаются такие методы, как объектно-ориентированный метод, UML диаграммы, NLG алгоритм, а также различные методы генерации документов на основе гипертекста, баз знаний и баз данных. При изучении этого вопроса предлагается собрать методы, которые могут быть полезны в создании программы, направленной на проверку программной документации.

Ключевые слова: документация, техническая документация, программная документация, документ, генерация, технология.

### ВВЕДЕНИЕ

В области подготовки программной документации можно выделить ряд проблем, которые делают этот процесс сложным, долгим и ресурсозатратным. Конечно, есть решения, при которых кажется, что проблемы проработаны, однако эти решения были спроектированы в XX веке, и поэтому не являются актуальными. Так как логика проверки документации схожа в разных предметных областях и различия имеются непосредственно в самих загружаемых данных, то в качестве примеров аналогов можно включить в обзор литературы статьи по тематике «Медицина», «Машиностроение» и «Информационные технологии», так как преобладающее большинство качественных научных статей присутствуют в разделе у данных тематик.

### ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Необходимо проанализировать такие статьи, чтобы в них присутствовали методы, описывающие структуру документа, семантику и синтаксис, а также проверка дополнительных элементов, такие как изображения и код. Также должны быть включены статьи об интеграции и имплементации данных методов в приложения для конечных пользователей.

Метод NLG анализирует информацию, полученную из базы данных и базы знаний у имеющейся программы и, с помощью гипертекстовых и объектно-ориентированных методов, генерирует шаблон для документации с ключевыми словами [1]. Так как объём

документации возрастает с объёмом программы, то гораздо легче автоматизировать этот процесс, чем писать самому. При обновлении конфигурации не нужно переписывать документ полностью – достаточно запустить метод, который сам обновит конфигурацию.

Проверка документа не будет удобной без реализации алгоритма перемещения по нему. Экспрессивная логика временного описания позволяет специфицировать критерии согласованности контента по пути документа [2]. В случае нарушений спецификации контрольная панель модели обеспечивает контрпримеры, точно определяя ошибки в документе. На основе типовой технической документации в виде веб-документа демонстрируется общий процесс оценки, его активность, эффективность и удобство использования, а частота ошибок уменьшается на 50%.

Использование UML диаграммы для The Media Design Studio (MDS) – студии по созданию графического дизайна программных продуктов и подготовке диаграмм для документаций помогает понять, какие критерии для описания диаграмм помогут улучшить качество написанной документации [3]. Конечно также важен размер изображения, так как оптимальный размер для просмотра диаграммы читателем делает диаграммы удобными для эксплуатации в документе. Это положительно скажется на том, что критерии помогут писателям, разработчикам создать четкие, сжатые и полезные диаграммы последовательности, которые отвечают ожиданиям пользователей.

Обычно, в программной документации для представления проекта используются не только диаграммы, но ещё и код. Программа DynamiDoc – простой, но эффективный подход к автоматизированной документации, основанный на динамическом анализе [4]. Генерация пояснительной записки происходит на основе исходного кода программы. Она отслеживает выполняемую программу и записывает строковые представления конкретных значений аргументов, возвращаемого значения и состояния целевого объекта до и после выполнения каждого метода.

В документации важна не только структура документа, но и качество написанного текста, ведь чем сложнее написано предложение, тем сложнее его понимать [5]. Проверка правильного использования грамматики и орфографии важна, так как её регулировка сделает документ понятным.

Чтобы определить эффективность виртуальной документации, стоит сравнить бумажную картотеку и Electronic medical records (EMRs) – электронную систему хранения медицинских записей, использующую объектно-ориентированные методы [6]. 1,5 % американских врачей и больниц пользовались EMR в 2009 году. К 2013 году процент использования среди больниц стал 57,4%, а среди врачей 78,4%. Повлиял на этот рост закон HITECH, который обязывал проводить внедрение электронных систем. Несмотря на растущую тенденцию использования EMR, есть 10% врачей, которые недовольны электронным заполнением карт. Скорее всего в этом случае важными характеристиками врачей становятся возраст и информационная грамотность. Однако несмотря на все неудобства, смертность в палатах, которые обслуживаются ERM, снизилась.

Существует ещё одна система – Medical documentation system (MDS) [7]. В ней применяются такие подходы, как онлайн-библиотеки, использующие общий командный язык (CCL), системы поддержки принятия решений (DSS), базы знаний и гипертекст. Абсолютным достоинством системы является двухканальная система передачи данных – от пользователя-пациента через систему к пользователю-врачу, использование смешанной организации хранения данных, онлайн доступ для извлечения соответствующих элементов, экспертный системный выбор и доступ к базам данных, приобретение копий документов, устранение проблем с авторскими правами, а также гипертекстовые системы.

## ВЫБРАННЫЕ МЕТОДОЛОГИИ

Программа для проверки программной документации будет содержать сложную конструкцию, поэтому обоснование выбора методов исследования для неё должно пройти тестирование на таких же сложных многофункциональных продуктах.

Метод NLG можно использовать для проверки структуры работ студентов после написания ими программы, из которой будут браться данные, генерироваться в шаблон и сверяться с написанным текстом. Похожий анализ проводили студенты НИУ Высшей школы экономики. Им удалось создать простой шаблон для новостей фондового рынка, что безусловно говорит об успешном использовании этого метода.

Алгоритм для удобного перемещения по документам с помощью гиперссылок сделает программу более функциональной. Например, чтобы найти в тексте расшифровку аббревиатуры, которая встретилась в конце документа, достаточно узнать, в каких местах встречается это сокращение. Этим алгоритмом используется в программе Verdikt, для которой и был разработан метод ALCCTL, а также сайт The Media Design Studio, использующий гипертекст для удобного перемещения по документу.

Предлагается проверять исходный код относительно пояснения этого кода в документе. Примеры применения можно увидеть в языке Java, где методы могут быть задокументированы комментариями, специально отформатированными в соответствии со спецификацией Javadoc. Этот метод применяется в DynamiDoc. Программа оказалась настолько востребованной, что бизнес-консалтинг по написанию документации Tech-Tav Documentation заключил договор с IBM Corporation для применения DynamiDoc в их компании. Также методы CCL и DSS можно использовать для проверки программной документации. Например, CCL и DSS существуют в электронном хранилище биомедицинской литературы MEDLINE и системе для управления доступом медицинской информации MEDLARS.

При использовании перечисленных методов зона покрытия проверки документации является полной.

## ВЫВОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Нужно сформулировать список критериев оценки документов. Для этого применяются функциональные критерии из IBM Corporation для проверки текста. Эти критерии дополняют функциональные критерии, разработанные для систем медицинских документов. Все описанные критерии оценки, а также отдельная проверка кода и диаграмм, обеспечат зону проверки покрытия документов.

Затем внедряются алгоритмы реализации и проверки, основанные на списке критериев. Основываясь на выбранных инструментах моделирования, получилось так, что инструментами для программирования должны стать база данных, объектно-ориентированный язык и общедоступная для работы платформа. В конце моделируется приложение с выбранными критериями и методами.

Приложение может функционировать и в рамках университета. Оно поможет проверять работу студентов, сводя к минимуму человеческий фактор. Что касается студентов, то программа поможет им написать документ более высокого качества. Всё это должно сократить время на проверку программной документации как у студента, так и у преподавателей, что продвинет написание работ на новый уровень.

## Библиографический список

1. Рейтер Е., Меллиш С., Левин Д. Автоматическая генерация технической документации // Журнал: Прикладной искусственный интеллект. 1994. № 9. С.259-287.
2. Шойнберг С., Вейлт Ф., Ялцик М., Фрейтаг Б. Проверка технической документации на основе логики // Собр. соч.: в материалах 9-го симпозиума АСМ по документации. 2009. С. 251.
3. Бист Г., Маккиннон Н., Мёрфи С. (2004). Отображение последовательности в технической документации // Собр. соч.: В материалах 22-й ежегодной Международной конференции по дизайну коммуникаций – разработка качественной документации. 2004. С. 128-133.
4. Формирование метода документации с использованием конкретных значений из запусков [Электронный ресурс] URL: <http://drops.dagstuhl.de/opus/volltexte/2017/7939/> (дата обращения: 20.03.2018).
5. Ривера Т., Тейт А., Уилл С. Смертельные грехи технической документации // Журнал: Proceedings. 2004. С. 297–301.
6. Клинич Н., Келлетт Д. Медицинская документация: часть решения или часть проблемы? Повествовательный обзор литературы о времени и стоимости медицинской документации // Международный журнал медицинской информатики. 2015. № 84. С.221-228.
7. Миайолис Г., Скойрлас С., Христопойлой А., Ксантфкис С. Новая роль системы медицинской документации // Международный журнал медицинской информатики. 1992. № 17. С. 165-178.

## METHODS OF VERIFICATION OF THE PROGRAM DOCUMENTATION

*Sinitsyna Tatyana I.*

National Research University Higher School of Economics, 38, Studencheskaya st., Perm, 614070, Russia, [tisinitsyna@edu.hse.ru](mailto:tisinitsyna@edu.hse.ru)

This work is devoted to the study of methods for verifying program documentation. The purpose of the study is to analyze various ways of performing document checks and searching for an optimized set of methods and criteria for automating document verification. The tasks of the work are the analysis of an article with similar problems, the separation of methods described in the articles, and the formation of a document verification algorithm on their basis. Such areas of study were considered, the fields of medicine, software and technical products. The choice is due to similar logical and semantic structures of documents. In articles devoted to selected areas, study covered methods of research and selection such as the object-oriented method, Unified Model Language (UML) diagrams, Natural Language Generation (NLG) method, expert evaluation, and various methods of generating documents based on hypertext, knowledge bases and databases. When studying this topic, it is planned to collect methods that will be used and proved by academia in creating a program aimed at testing program documentation. The study of the issue will begin with an introduction to the subject area of the research and a description of the problem, and then it will follow by review of the available methods described in the scientific literature and conclude with the summed-up results with the description of further actions.

Keywords: documentation, technical documentation, program documentation, document, generation, technology.



## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИГРЫ КАК СРЕДСТВО ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ВУЗА

*Смородов Александр Андреевич*

Национальный Исследовательский Университет Высшая Школа Экономики (Пермский филиал), 614070, Россия, г. Пермь, ул. Студенческая, 38, aasmorodov@edu.hse.ru

В данной статье поднимается вопрос эффективности современного образования, построенного на стандартном обучении с использованием лекций и практик. В настоящее время достаточно мало образовательных игр используется в обучении. Их потенциал в способности вначале помогать учителю на занятиях, а в дальнейшем и полностью заменить его недооценен. Для развития в этой области предлагается создать специализированную компьютерную программу, которая будет спроектирована на основе деловой игры о разработке программного обеспечения, и применить ее в профессиональном образовании студентов вуза. Первостепенно был проведен поиск существующих исследований, подтверждающих полезность обучающих качеств в играх, и выполнен анализ по выделению главных аспектов, на которые важно обращать внимание при проектировании собственных образовательных игр.

Ключевые слова: компьютерная игра, игровое обучение, обучение на основе игры, учебная игра, деловая игра, информационные технологии.

Современное образование в области IT технологий предоставляет для студентов и школьников теоретические знания, основанные на различных учебниках и накопленных знаниях преподавателей, а также практические уроки, целью которых является разработка программ, реализующих различные задачи, поставленные преподавателями. Существуют научные доказательства, что лекционные материалы гораздо меньше усваиваются учениками, в отличии от выполнения практических заданий [1]. Однако изучаемый материал еще лучше усваивается, если проводить занятия по принципу игры. Такие формы обучения позволяют активизировать мозг на решение сложных задач и повышает мотивацию к обучению.

В качестве темы для проектирования образовательной компьютерной игры выбрана сфера обучения студентов навыкам разработки программного обеспечения. Существует проблема, что процесс деловой игры достаточно сильно зависит от знаний преподавателя и его способности привлечь аудиторию к взаимодействию друг с другом. К тому же для проведения обучающей игры для большой аудитории, как правило, требуется увеличение количества времени на игру, либо добавление новых ведущих и ресурсов на тот же промежуток времени. Частично решить данную проблему может позволить внедрение в процесс обучения программы, которая представляет собой игру, построенную на базе выдвинутой ранее темы. В ней главным образом будет представлен процесс разработки программного обеспечения по одной из распространенных методологий.

В последнее время распространенным способом для получения практических навыков используются деловые игры. Они являются своеобразным моделированием процессов и механизмов принятия решений, используя математическую и организационную модели. Применение таких игр в обучении способствует развитию профессиональных навыков обучаемых, учит защищать свою точку зрения, используя обоснованные аргументы, перефразировать и применять получаемую информацию и работать сообща. Также деловая

игра способствует развитию социальных навыков в людях и воспитанию правильной самооценки.

В своем рассуждении А. А. Вербицкий говорит о деловой игре, как о симуляторе, создающем социальное и предметное содержание имитируемой профессии. Такая игра позволяет человеку столкнуться с теми процессами деятельности, которые могут проявиться в реальности. И, обнаружив проблему один раз, не допустить ее появления второй [2].

Исследование ряда иностранных деятелей на наборе нескольких групп студентов в общей численности 103 человека показало, что группа, обучающаяся с использованием игры, значительно больше получила опыта в изучаемой профессиональной деятельности, чем другая группа, не связанная с игрой. Первая группа была более заинтересована, сконцентрирована и способна контролировать свое обучение, чем другая. Использование игры может быть эффективно для помощи учащимся в обучении и мотивировать их изучать новый материал.

Этот вывод согласуется с некоторыми результатами других исследований, изучающих обучение на основе игры и получения профессионального опыта. Admiraal et al. обнаружил, что обучение на основе игры может улучшить опыт в рассматриваемой деятельности и взаимодействие учащихся средних школ. Choi и Baek обнаружили, что мультимедийная виртуальная учебная среда может улучшить такой опыт среди старшеклассников в начальных школах. Kiili и Kiili et al. указали на то же самое только среди студентов колледжа, а Liu предположил, что применение такого метода обучения может повысить стремление студентов к дистанционному обучению. Однако ранее эти исследования не сравнивали между собой обучение на основе игры и стандартное обучение по книгам [3].

Основная идея предыдущих исследований в области образования была также разделена другими авторами: Sung, Hwang, Lin, & Hong. В своих исследованиях они разработали и внедрили экспериментальную игру для детей в начальной школе. Затем они проанализировали разницу обучения с использованием игры и без, и полученные результаты показали, что игровые сценарии, встроенные в образование, могут стимулировать мотивацию для изучения новых и глубоких знаний. Достичь этого можно постоянно улучшая игру, где лучшим способом сделать это является учет предпочтений каждого ученика и проведение как можно больше занятий с использованием этой игры [4].

В другой работе исследователи анализируют влияние использования игры в обучении для внедрения ее в математические курсы. Они выдвигают утверждение, что для положительного влияния программы на мотивацию учащихся к обучению, необходимо использовать специальные стратегии и методы. Одним из таких инструментов является добавление игровой подсказки для пользователя, которые могут помочь ученику в трудной и непонятной ситуации. Ее целью является направить ученика на правильный выбор, когда он не может справиться самостоятельно. Самое главное — не сообщать ответ напрямую, а только давать подсказку, как достичь желаемого результата. Таким образом, даже если студенты не могут решить проблему самостоятельно, у них все еще есть энтузиазм после намека на правильное действие и вероятность успешного решения возрастет [5].

Учителя также могут играть важную роль в игре. По словам Becker, в качестве экспертных руководителей, они могут помочь ориентироваться в аспектах игры, а также наполнять игровой контент учебными материалами. Сочетание увлекательного геймплея и образовательной информации делает учеников удовлетворенными и их удовольствие зависит от успеха решения возникающих проблем в игре. Поэтому игра должна иметь трудности, которые преднамеренно препятствуют прогрессу или ухудшают условия игры, однако они должны быть в меру решаемыми, чтобы игрок не застрял на одном месте. Таким образом, студент постоянно будет стремиться улучшить условия в игровой среде, и он будет все больше радоваться, выполняя эту задачу.

Игры предоставляют хорошую возможность для людей воплощать свои идеи и мысли. Используя симулятор, они могут делать то, что невозможно в реальной жизни, и получать

ответы на ранее неисследованные вопросы. Это дает свободу экспериментировать с небольшим или вовсе без риска. Каждое действие пользователя может контролироваться и записываться для проведения исследований или сбора статистики для дальнейшего сравнения результатов [6].

Суммируя выводы из рассмотренных статей можно составить рекомендательную методику для создания собственных обучающих игр. Главным образом они должны быть направлены на обучение пользователей, а не на развлечение, однако обе эти составляющие должны присутствовать для того, чтобы игра пользовалась популярностью. Также немаловажным является добавление подсказок, которые помогают игроку ориентироваться в незнакомом для него игровом пространстве, а геймплей должен быть дружественным по отношению к пользователю и объяснять сложные для понимания вещи, если таковые имеются. Третьим фактором хорошей обучающей игры является добавление сложности в игровой процесс, которая будет мотивировать игрока решать трудные для него задачи. Другими словами, если он будет чем-либо занят, то вероятно он будет заинтересован в выполнении этого действия, пока не добьется своих результатов. Поэтому важно соблюдать эту тонкую грань сложности задачи, когда пользователь заинтересован в решении проблемы, и при этом у него есть возможность решить ее. Кроме того, следует поддерживать свой продукт и периодически изменять программу в соответствии новым технологиям, которые становятся популярными в современном мире. Очень важно следить за актуальностью программы, ведь используемые технологии при разработке могли за определенное время уже устареть и их использование становится более неэффективно.

Таким образом все изученные исследовательские группы подтверждают, что, основанное на игре, обучение дает больше преимуществ, чем использование стандартных методов изучения материала на основе лекций и практик. В основном игра привлекает студентов к интересному процессу, в то время как они изучают новый материал. Помимо этого, она позволяет человеку почувствовать себя в реальной ситуации, которая могла бы произойти в определенной изучаемой области, и в некоторой степени мотивирует своей увлекательностью, если ученику нравится участвовать в ней. Предложенная методика создания собственной обучающей игры позволяет правильно выстроить ее цель, а также ориентировать ее на обучение игрока и привлечение его заинтересованности.

### Библиографический список

1. *Freeman S., Eddy S., McDonough M., Smith M., Okoroafor N., Jordt H., Wenderoth M.* Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014. Vol. 111(23).
2. *Вербицкий А.А.* Активное обучение в высшей школе: контекстный подход: Метод. Пособие. М.: Высш. шк., 1991.
3. *Chang C., Liang C., Chou P., Lin G.* Is game-based learning better in flow experience and various types of cognitive load than non-game-based learning? Perspective from multimedia and media richness // *Computers in Human Behavior*. 2017. Vol. 71. P. 218-227.
4. *Sung H., Hwang G., Lin C., Hong T.* Experiencing the Analects of Confucius: An Experiential Game-based Learning Approach to Promoting Students' Motivation and Conception of Learning // *Computers and Education*. 2017. Vol. 110. P. 143-153.
5. *Yang K., Chen J., Lu B.* Development of a digital game-based learning system with graduated prompting strategy for math course // 2016 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI). 2016.
6. *Becker K.* Choosing and Using Digital Games in the Classroom // *Advances in Game-Based Learning*. Switzerland: Springer International Publishing, 2017.

## COMPUTER GAMES AS A TOOL FOR STUDENTS EDUCATION

*Smorodov Aleksandr A.*

National Research University Higher School of Economics ,38, Studencheskaya st., Perm, 614070,  
Russia, aasmorodov@edu.hse.ru

**Abstract.** This article reveals the effectiveness of modern education built on standard learning using lectures and practices. Currently, quite few educational games used in teaching. Their potential in the ability to help the teacher in class, and in the future, completely replace it is underestimated. For the development of game-based education, it is proposed to create a specialized computer program, which will be designed on the basis of a business game about software development, and apply it in vocational education of students. The searching for existing studies was carried out that confirm the usefulness of learning component in games, and the main aspects was determined that it is important to pay attention when designing your own educational games.

**Keywords:** computer game, game-based education, learning based on the game, educational game, business game, information technology.

## РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЕ ТАБЛИЧНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ДЕСКРИПЦИОННОЙ ЛОГИКИ SHIQ

*Ступников Александр Андреевич, Ивашко Александр Григорьевич*

Тюменский Государственный Университет, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6,  
saarus72@gmail.ru

В работе предложена концепция параллельного табличного алгоритма вывода для дескрипционной логики *SHIQ*. В отличие от существующего подхода к распараллеливанию табличного алгоритма, вместо параллельной проверки различных вариантов правил вывода, создающих неоднозначность (дизъюнкции, численного ограничения сверху), предлагается параллельно выполнять не создающие неоднозначность правила вывода для всех комбинаций вариантов разрешения данных неоднозначностей. Предложенный вариант менее централизован и призван более эффективно выполняться на значительно большем числе потоков из-за уменьшения затрат на модерацию потоков-работников и упрощения задачи, лежащей на каждый поток. В тексте дан примерный вариант его реализации, в котором учтены некоторые возможные ошибки и коллизии, вызываемые параллельным выполнением алгоритма.

Ключевые слова: дескрипционные логики, табличный алгоритм, распараллеливание.

В настоящее время для описания и обработки онтологий (формализаций знаний некоторой области)[1] зачастую используется математический аппарат дескрипционных логик, как предлагается, например, в связанном с искусственным интеллектом проекте семантической паутины[2]. Для решения задачи о (не)выполнимости онтологии, то есть определения возможности построения её модели[3], к которой сводятся все практические задачи дескрипционных логик, в 90-е годы были предложены[4] различные варианты так называемого табличного алгоритма. Пример табличного алгоритма для дескрипционной логики *SHIQ* дан в [5].

Среди способов оптимизации табличного алгоритма, помимо некоторых оригинальных механик, таких как *backtracking*[6] или различная (эвристическая) предобработка концептов (н-р, в [7]), популярностью пользуется идея параллельного выполнения подразумевающих неоднозначность ( $\sqcup$ -, *choose*-,  $\leq$ -) правил вывода, описанная, например, в [8] для дескрипционной логики *SHN*. Авторами предлагается введение менеджера задач, который модерировал бы пул заданий для потоков. При выполнении правил вывода дизъюнкции и объединения  $m$   $r$ -последовательностей из-за численного ограничения сверху возникает соответственно два и  $2^m$  возможных вариантов, для них менеджер создаёт соответствующие задания в пуле заданий, откуда достаются потоками, которые, параллельно обрабатывая их, сталкиваются с новым выбором и опять создают задания.

Такой подход зарекомендовал себя успешным и, как было показано, во многих случаях даёт увеличение производительности, близкое к увеличению числа вычислительных ядер (2,5–4 кратное увеличение производительности при четырёх потоках для [8]). В то же время, такая линейность падает по ходу этого увеличения; в [8] прирост производительности не превышает четырёх раз даже для двенадцати потоков. Такое падение можно связать с неравномерностью заполненности очереди задач и затратами на её обслуживание

менеджером. Все перечисленные ограничения связаны с централизованной архитектурой менеджера заданий и не позволяют эффективно использовать преимущества параллельности в случае большого числа параллельных вычислительных узлов.

В настоящей статье предлагается оригинальный подход к организации параллельного алгоритма, избавленный от недостатков существующего и предположительно позволяющий эффективно использовать массивно-параллельные процессоры, например, графические карты<sup>1</sup> с помощью представленной в 2007 году [9] корпорацией Nvidia технологии CUDA.

В качестве основы для изменения возьмём алгоритм из [5]. Назовём правила вывода  $\Pi$ ,  $\exists$ ,  $\forall$ ,  $\forall+$ ,  $\geq$  определёнными, а  $\sqcup$ , *choose*,  $\leq$  — неопределёнными. Вместо параллельной проверки всех вариантов неопределённых правил вывода предлагается параллельно применять определённые правила в силу того, что изменения, влекомые их применением, не могут испортить предпосылку другого правила вывода так, чтобы его применение оказалось недопустимым и получившееся дерево перестало быть корректным деревом модели. В то же время, применение неопределённых правил вывода создаёт различные варианты дерева, которые также можно обрабатывать параллельно, однако в таком случае теряется крайняя степень параллельности выполнения, выделяющая предложенный параллельный вариант табличного алгоритма среди существующих.

Рассмотрим подробнее применение определённых правил вывода. В результате их применения может либо возникнуть новый концепт узла (правила  $\Pi$ ,  $\forall$ ,  $\forall+$ ), либо возникнуть новый  $s$ -потомок ( $\exists$ ,  $\geq$ ). Никакое правило не содержит в предпосылке отсутствия концепта для узла; те, что содержат, добавляют его же сами, следовательно, если в процессе применения правила концепт добавится ранее другим правилом, результат не изменится. Если правило содержит в предпосылке отсутствие потомка, который добавится во время выполнения другого правила, то возникнет ситуация наличия нескольких потомков. Поскольку для них не будет существовать запрета на объединение, в случае нарушения возможного условия правила  $\leq$  они будут объединены, что влечёт лишь увеличение времени вычислений, а не возникновение коллизий.

Ниже приведён набросок предлагаемого алгоритма.

### **Параллельный табличный алгоритм**

Существуют множества (атомарных) концептов  $\mathbf{C}$  и ролей  $\mathbf{R}$ . Существует множество узлов дерева  $\mathbf{X}$ , где узлом  $x$  называется сущность, для которой задано множество выполняющихся для него концептов  $\mathbf{C}_x$ . Существует множество *связей*  $\mathbf{L}$ , где *связью*  $\mathbf{I}$  является кортеж (ссылка на  $x_1 \in \mathbf{X}$ , ссылка на  $x_2 \in \mathbf{X}$ , ссылка на  $r \in \mathbf{R}$ ).

Существует множество *заданий*  $\mathbf{T}$ . *Заданием*  $t$  называется кортеж (тип, ссылка на  $c \in \mathbf{C}$ , ссылка на  $x \in \mathbf{X}$ , пометка о занятости, пометка о выполненности). В зависимости от соответствующего типу правила вывода *задание* может быть определённым и неопределённым. Существует стек *предположений*  $\mathbf{S}$ . *Предположением*  $s$  является кортеж (ссылка на  $t \in \mathbf{T}$ , *вариант*  $s$ ). Изначально  $\mathbf{X}$  состоит из одного узла  $x_0$  с  $\mathbf{C}_{x_0} = \{c_0\}$ , где  $c_0$  — изначальный концепт дерева;  $\mathbf{T}$  состоит из одного *задания*  $c_0$  со ссылкой на  $x_0$ ;  $\mathbf{S}$  и  $\mathbf{L}$  пусты.

Добавить *задание* (для узла  $x$ ) значит добавить незанятое невыполненное *задание*  $t$  в  $\mathbf{T}$  со ссылкой на  $x$  и ссылкой на  $t$  в последнее *предположение* из  $\mathbf{S}$ . Добавить концепт  $c$  (для узла  $x$ ) значит добавить  $c$  в  $\mathbf{C}_x$  и ссылку на  $c$  в последнее *предположение* из  $\mathbf{S}$ . Добавить *связь* значит добавить  $\mathbf{I}$  в  $\mathbf{L}$  и ссылку на  $\mathbf{I}$  в последнее *предположение* из  $\mathbf{S}$ .

Алгоритм состоит из чередующихся определённой и неопределённой фаз.

Определённая фаза. Если в  $\mathbf{T}$  есть определённое незанятое невыполненное *задание*  $t$ , то для любого такого  $t$  выполняется его обработка, одновременно с обработками других  $t$  или нет. Помечаем  $t$  занятым и в зависимости от типа  $t$ :

---

<sup>1</sup> Число процессоров на видеокартах долгое время исчисляется сотнями; например, 128 stream-процессоров для GeForce 8800 Ultra 2007 г. анонса и 3584 скалярных процессора для GeForce GTX 1080 Ti 2017 г. анонса

- «П»: добавить узлу  $t$  оба подконцепта, добавить каждый как новое *задание*, пометить  $t$  как выполненное и незанятое.
- «Э»: добавить  $x \in X$ , добавить  $c \in C$  и  $l \in L$ , пометить все *задания* « $\forall$ » и « $\forall+$ » узла  $t$  (связанные с ролью  $s$ ) как невыполненные, добавить *задание* концепта для  $x$ , пометить  $t$  как выполненное и незанятое.
- « $\forall$ »: пометить  $t$  как выполненное и если есть  $s$ -соседи: для каждого добавить подконцепт, добавить для него *задание*, пометить  $t$  как незанятое; иначе: пометить  $t$  как незанятое.
- « $\forall+$ »: пометить  $t$  как выполненное и если есть  $r$ -соседи: для каждого добавить подконцепт, добавить для него *задание*, пометить  $t$  как незанятое; иначе: пометить  $t$  как незанятое.
- « $\geq$ »: добавить узлы, для каждого из них добавить подконцепт и *задание* для подконцепта, пометить  $t$  как выполненное и незанятое.

Если встречаем противоречие: останавливаем все обработки *заданий*, в обратном порядке удаляем *предположения*  $s$  из  $S$  и отменяем произошедшие после их принятия изменения  $X$  и  $T$ , пока и если  $S$  не пуст и последнее *предположение* является проверенным. Проверенное *предположение* — то, у которого нет других *вариантов*. Если после этого  $S$  не пуст, для последнего *предположения* принимаем другой *вариант*, добавляем в  $T$  *задание* соответствующего концепта. Если после этого  $S$  пуст, модель построить невозможно.

Неопределённая фаза. Выполняется только в том случае, если в  $T$  нет определённых *заданий*. Добавляем в  $S$  любое неопределённое *задание*, для которого нет ссылки в  $S$ , устанавливаем для *предположения* *вариант*, добавляем соответствующее *задание* в  $T$ . *Вариантом* является:

- «Ш»: каждый из двух подконцептов.
- «choose»: каждый из концепта и его отрицания каждого  $s$ -потомка (удаление *предположения* происходит тогда, когда очередного потомка не остаётся, иначе *предположение* остаётся в  $S$  с пометкой, что оно не распространяется на данного потомка).
- « $\leq$ »: объединение каждой пары  $s$ -потомков (удаление *предположения* происходит тогда, когда все пары перебраны, иначе *предположение* остаётся в  $S$  с пометкой, что оно не распространяется на данную пару).

Если  $T$  пусто: модель построена, иначе модели не существует, т.е. онтология невыполнима.

### Заключение

Предложенная концепция параллельного табличного алгоритма не требует активной модерации выполнения со стороны главного потока и потому допускает более высокую степень эффективной параллельности.

В данной статье опущено доказательство конечности алгоритма, в частности, не показан способ блокирования бесконечных веток дерева, проблема которых рассмотрена в [5]. Также проблематичным является применение техники backtracking ввиду упомянутой в [8] сложности с отслеживанием ссылок на предыдущие узлы дерева.

### Библиографический список

1. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения : учебное пособие / Б.В. Добров, В.В. Иванов, Н.В. Лукашевич, В.Д. Соловьев. — М.: Интернет-Университет Информационных Технологий; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 173 с.
2. Tim Berners-Lee, James Hendler, Ora Lassila. *The Semantic Web*. 2001. Перевод: Семантическая Сеть. Переводчик: Евгений Золин. // Домашняя страница Евгения Золина. 2004. URL: [http://pcs.math.msu.su/~zolin/sw/semantic\\_web\\_rus.html](http://pcs.math.msu.su/~zolin/sw/semantic_web_rus.html) (дата обращения: 23.03.2018)

3. Uli Sattler et al. (I can't get no) satisfiability // Ontogenesis — a Knowledge Blog about building, using and maintaining ontologies. 2013. URL: <http://ontogenesis.knowledgeblog.org/1329> (дата обращения: 23.03.2018)
4. *Manfred Schmidt-Schauß and Gert Smolka*. Attributive concept descriptions with complements. *Artificial Intelligence*, 48(1):1–26, 1991.
5. *I. Horrocks, U. Sattler, S. Tobies*. Practical Reasoning for Expressive Description Logics. *Proceedings of the 6th International Conference on Logic for Programming and Automated Reasoning (LPAR'99)*, Lecture Notes in Artificial Intelligence, 161-180, 1999.
6. *Horrocks, I.*: Optimising tableaux decision procedures for description logics. Ph.D. thesis, The University of Manchester, 1997.
7. *Andrey V. Grigorev and Alexander G. Ivashko*. TReasoner System Description. *Proceedings of the 2nd OWL Reasoner Evaluation Workshop (ORE 2013)*, Springer, 2013.
8. *Thorsten Liebig and Felix Müller*. Parallelizing tableaux-based description logic reasoning. In Robert Meersman, Zahir Tari, and Pilar Herrero, editors, *Proceedings of OTM Workshops 2007, Part II*, volume 4806 of LNCS, pages 1135–1144. Springer, 2007.
9. *Fedy Abi-Chahla*. Nvidia's CUDA: The End of the CPU? // Tom's Hardware. 2008. URL: <http://www.tomshardware.com/reviews/nvidia-cuda-gpu,1954-14.html> (дата обращения: 23.03.2018)

## TABLEAU ALGORITHM PARALLELIZATION FOR DESCRIPTION LOGIC SHIQ

*Alexander A. Stupnikov, Alexander G. Ivashko*

University of Tyumen, 6 Volodarskogo str., Tyumen, Russia, 625003, saarus72@gmail.ru

**Abstract.** We propose a parallel tableau algorithm concept for description logic *SHIQ*. Unlike the existing common tableau algorithm parallelization approach, our concept assumes to concurrently process not the rules which create ambiguity (such as disjunction, qualified cardinality restrictions etc.) but the rules which does not for all the ambiguities resolution alternatives combinations. The design we propose is less centralized and expected to be executed more efficiently by larger number of threads due to reduction of multithreading design moderation expenses and simplification of each thread task. The algorithm sketch is given that consider some potential mistakes and collisions caused by parallel execution of algorithm.

**Keywords:** description logics, tableau algorithm, parallelization.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ С УЧЕТОМ СМЕНЫ ФАЗ

*Суходоева Татьяна Сергеевна, Каменских Анна Александровна*

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614000, Россия,  
г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, tat.suhodoewa@yandex.ru

В данной работе исследуется процесс затвердевания расплава с учетом смены фаз для изотропных материалов. Построена математическая модель, позволяющая описать термомеханические процессы в изделии в широком температурном диапазоне, включающем в себя переход от жидкого состояния к твердому. Описание физических свойств расплава было произведено по модели вязкой жидкости, твердая фаза описывалась моделью линейно упругого тела. Сформулированы краевые задачи механики кристаллизующегося тела для одноосного и плоского напряженных состояний. Поле температур описывалось нестационарным уравнением теплопроводности с внутренним источником, учитывающим излучения при смене фаз. Разработаны алгоритмы решения модельной задачи в двумерной постановке в пакете Matlab методом конечных элементов. Приведены результаты численной реализации, демонстрирующие новые определяющие соотношения.

Ключевые слова: кристаллизация, фазовые переходы, определяющие соотношения, метод конечных элементов.

В литейном производстве большое влияние уделяется кристаллизационным процессам, так как они влияют на структуру отливок, их физико-механические свойства, определяют прочность и долговечность готовых изделий. Широкое распространение получили численные исследования, позволяющие при помощи программных комплексов на основе соотношений механики сплошных сред прогнозировать поведение и эволюцию материалов, получать наглядные данные по структуре и напряженно-деформируемому состоянию.

Так работа [1] посвящена исследованию процесса структурообразования в результате кристаллизации при различных температурных режимах. Наибольший интерес представляет конструкционное переохлаждение, исследователи приходят к выводу, что в процессе затвердевания происходит постоянное изменение структуры, конечное состояние зависит от скорости охлаждения. В работе [2] представлен более глубокий подход к описанию природы материала. Построена феноменологическая модель, в которой установлена непрерывная связь тензоров напряжений и деформаций в широком интервале температур, включающем диапазон релаксационного перехода для полимерных материалов.

Данная работа посвящена построению феноменологической модели, способной описать изменение структуры материала при температурах близких к точке кристаллизации. Одной из значимых особенностей затвердевающего тела является существенная неравномерность распределения температуры вследствие охлаждения. Эта неоднородность распределения температурного поля приводит к значительным остаточным напряжениям, что может стать причиной появления трещин и нежелательного изменения формы изделия. Поэтому рассматривается модельная задача кристаллизации изотропного материала при неравномерном охлаждении тела. Решается квазистатическая задача термоупругости, поле температур описывается нестационарным уравнением теплопроводности с учетом влияния смены фаз (1).

$$c_v \rho \frac{\partial T}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad}(T)) + Q_\alpha \frac{d\alpha}{dt}, \quad (1)$$

где  $c_v$  – удельная теплоемкость среды,  $\rho$  – плотность среды,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $Q_\alpha \frac{d\alpha}{dt}$  – плотность внутренних источников в процессе кристаллизации.

Для описания физического поведения материала в твердом состоянии использовалась модель линейно упругого тела:

$$\sigma_{ij}^{kr} = \lambda \theta \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{ij}$  и  $\varepsilon_{ij}$  – компоненты тензора напряжений и деформаций,  $\theta$  – первый инвариант тензора деформаций,  $\delta_{ij}$  – символ Кронекера

Физические соотношения для расплава, который описывался как вязкая жидкость, имеют вид:

$$\sigma_{ij}^r = -p \delta_{ij} + \lambda_1 \dot{\theta} \delta_{ij} + 2\mu_1 \dot{\varepsilon}_{ij}, \quad (2)$$

где  $p$  – гидростатическое давление,  $\lambda_1$  и  $\mu_1$  – коэффициенты вязкости

Система представляет из себя двухкомпонентную смесь твердой и жидкой доли, объемное содержание каждой определяется степенью кристаллизации  $\alpha(t)$ . Для кристаллизационных процессов важную роль играет история деформирования, так как вновь появившаяся в расплаве твердая фаза начинает совместно деформироваться с закристаллизовавшимися ранее, но до этого момента считается ненагруженной. Физические соотношения системы носят интегро-дифференциальный характер:

$$\begin{aligned} \sigma_{ij}(t) = & \int_0^{\alpha(t)} \left[ \lambda (\theta(t) - \theta(\tau)) \delta_{ij} + 2\mu (\varepsilon_{ij}(t) - \varepsilon_{ij}(\tau)) \right] d\alpha(\tau) + \\ & + (1 - \alpha(t)) \left( -p \delta_{ij} + \lambda_1 \dot{\theta}(t) \delta_{ij} + 2\mu_1 \dot{\varepsilon}_{ij}(t) \right) \end{aligned} \quad (3)$$

Процесс кристаллизации протекает в широком температурном диапазоне и сопровождается структурными изменениями. Стоит заметить, что силовые деформации в выражении (4) не равны полным, а имеют вид:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon^{\Pi}(t) - \varepsilon^T(t) + \varepsilon^{yc}(t), \quad (4)$$

где  $\varepsilon^{\Pi}$  – полная деформация,  $\varepsilon^T$  – температурная деформация,  $\varepsilon^{yc}$  – деформация, вызванная усадкой.

В рамках работы рассматривается задача о неравномерном управляемом остывании пластины с температуры выше точки плавления. Материал первоначально находится в расплавленном состоянии, подвергается фазовому переходу, и в конечном состоянии представляет из себя полностью закристаллизовавшееся тело. Охлаждения происходит по заданной функции с правого торца пластины. Реализуется плоско напряженное состояние (Рис.).

Для реализации метода конечных элементов определяющие соотношения приводились к форме закона Гука, представление в матричной форме:

$$\{\sigma\} = \left( \alpha(t) [D]^{kr} + (1 - \alpha(t)) [D]^r \right) \{\varepsilon\} - \{\sigma_0\} - \{\sigma_P\} - \{\sigma_k\}$$

В процессе кристаллизации пластина меняла форму, происходило сжатие в обоих направлениях. Перемещения узлов пространственной области тела в начальный и конечный (в десятикратном увеличении) моменты представлены на рис 1.

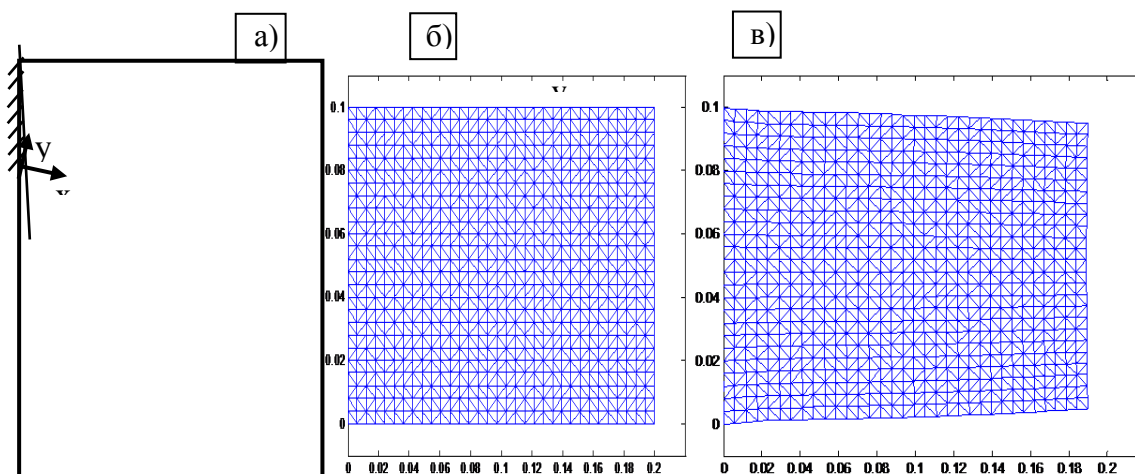


Рис. Двумерная задача кристаллизации: а) расчетная схема; б) конечно-элементная сетка до деформирования; в) конечно-элементная сетка после деформирования

В ходе работы были сформулированы физические соотношения для описания затвердевания расплава с учетом смены фаз. На их основе была поставлена краевая задача механики. Численная реализация в пакете Matlab показала физические результаты, удалось пронаблюдать всю историю деформирования. Полученные результаты могут быть использованы для моделирования фазовых превращений в металлах.

#### Библиографический список

1. Албу А.Ф., Зубов В.И. Математическое моделирование и исследование процесса кристаллизации металла в литейном деле // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2007. Т. 47. № 5. С. 882-902.
2. Матвеев В.П., Сметанников О.Ю., Труфанов Н.А., Шардаков И.Н. Термомеханика полимерных материалов в условиях релаксационного перехода. – М.: Физматлит, 2009. – 176 с.

### MODELING OF THE CRYSTALLIZATION PROCESS WITH THE ACT OF THE PHASE CHANGE

*Sukhodoeva Tatyana, Kamenskikh Anna*

Perm National Research Polytechnic University, 614000, Russia, Perm, Komsomolsky Av. 29,  
tat.sukhodoewa@yandex.ru

In the present work, we study the process of solidification of a melt, taking into account the phase change for isotropic materials. A mathematical model is constructed that allows describing thermomechanical processes in a product in a wide range, including the transition from a liquid state to a solid state. The physical properties of the melt were described by a viscous fluid model, the solid phase was described by a linear elastic body model. The boundary problems of the mechanics of a crystallizing body for uniaxial and plane stressed states are formulated. The temperature field is described by a nonstationary heat equation with an internal source that is taken into account when the phase changes. Algorithms for solving the model problem in the two-dimensional formulation in the Matlab package by the finite element method are developed. The resulted results of numerical realization showing new defining relations.

Keywords: crystallization, phase transitions, determining relationships, finite element method

## РАЗРАБОТКА СЕРВИСА ПОИСКА СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПОНЯТИЯМИ В КОЛЛЕКЦИИ ОНТОЛОГИЙ

*Трофимов Илья Вадимович, Постановов Игорь Сергеевич*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, itrofimov.iv@yandex.ru

В данной статье описан спроектированный и реализованный сервис поиска связей между понятиями в коллекции онтологий, являющийся частью разрабатываемого адаптируемого сервиса навигации в коллекции онтологических ресурсов. Приведён обзор методов поиска путей между концептами в онтологии, выбрано основанное на транзитивных запросах расширение языка SPARQL от Virtuoso. Предложена архитектура сервиса и кратко описан его API. В качестве подсистемы хранения данных выбрано RDF-хранилище. Представлен прототип графического пользовательского интерфейса, использующего сервис – будущего компонента редактора онтологий ОНТОЛИС 2.0. Помимо этого, сервис может быть использован в таких задачах, как проверка целостности онтологии после её кластеризации, формирование интеллектуальных подсказок или автоматическое построение фрагментов запроса в SPARQL-редакторах.

Ключевые слова: онтология, навигация в коллекции онтологий, SPARQL.

Онтологии могут использоваться в качестве источников знаний в различных системах, например, анализа текстов, извлечения знаний, информационного поиска, что позволяет обрабатывать сложную и разнообразную информацию. Обычно такие системы основаны не на одной онтологии, а на нескольких. При настройке систем, использующих такие коллекции, использование классических редакторов онтологий (ОНТОЛИС 2.0 [1], Protégé [2], Web Protégé [3], Ontobee [4], Wikidata [5]) может быть неадекватно, так как они имеют систему навигации только по одной онтологии, а не в коллекции. Также в визуальных графических редакторах не рисуются связи, которых нет в просматриваемой онтологии, но есть в коллекции. Слияние онтологий (в том числе mapping, merging, alignment) не решает эту проблему как по причине несовершенства соответствующих алгоритмов, так и из-за неудобства работы с конечным результатом ввиду его большого размера. Поэтому нетривиальной становится задача проверки адекватности коллекции онтологии для решаемой задачи. Одним из способов такой проверки может служить возможность поиска путей между концептами.

Чтобы помочь таким редакторам в навигации по концептам, будет полезным разработать сервис поиска связей между понятиями не только в одной онтологии, но и в коллекции. Предложенное решение вместе с ранее разработанным сервисом [6], который предоставляет возможность поиска концептов и связанных с ними понятий, будут основными компонентами в системе навигации по коллекции онтологических ресурсов.

### **Обзор методов поиска путей между концептами в онтологии**

Так как онтологию можно представить в виде невзвешенного графа, в котором понятия являются вершинами, а отношения – ребрами, то для нахождения пути можно воспользоваться алгоритмами поиска пути между вершинами в графе. Альтернативным способом навигации в коллекции онтологий является использование языка SPARQL,

который может быть использован для выражения запросов в различных источниках данных, но стандартные возможности имеют транзитивный поиск пути только по одной конкретной связи.

Первый способ (представление онтологии в виде графа) требует дополнительно трансформировать данные в структуру для работы алгоритма поиска пути, а не использовать RDF структуру, которая является традиционным способом хранения связанных данных (Linked Data). Кроме того, наложение дополнительных условий в поиске приведет к модификации алгоритма, в случае же со SPARQL потребуется лишь добавить эти условия в шаблон запроса.

В связи с вышеприведенными недостатками метода поиска пути между вершинами на графе и ограниченностью стандартных возможностей языка SPARQL было решено рассмотреть расширения языка SPARQL, предоставляющие возможность поиска пути между двумя концептами в рамках синтаксиса SPARQL. Результат обзора расширений языка SPARQL: SPARQLeR [7], PmSPARQL [8], SPARQ2L [9], OpenLink Virtuoso [10] представлен в таблице 1.

**Таблица 1. Сравнение расширений SPARQL**

	SPARQLeR	PmSPARQL	SPARQ2L	OpenLink Virtuoso
Поиск прямых путей	+	+	+	+
Фильтрация путей с помощью регулярных выражений	+	+	-	-
Поиск неориентированных путей	+	-	-	-
Используется хранилище RDF	-	+	+	+
Доступна реализация	-	-	-	+

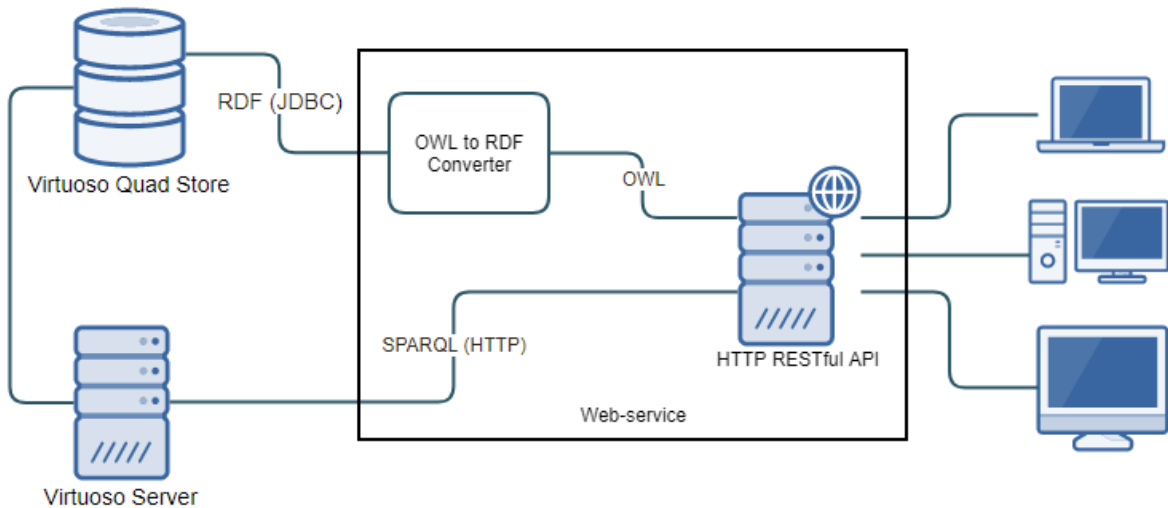
Существующие средства навигации через расширения SPARQL требуют изучения дополнительного синтаксиса. Некоторые средства требуют нестандартную для Linked Data систему хранения данных RDF, что влечет за собой сложности с интеграцией в сторонние решения.

Для решение этой проблемы было предложено разработать такую систему, которая предоставит возможность в навигации по коллекции онтологий. Предлагаемое решение может использоваться в редакторах онтологий для проверки целостности онтологии после ее кластеризации, кроме того, в задачах формирования интеллектуальных подсказок или автозаполнения в SPARQL-редакторах.

#### **Описание разработанной системы**

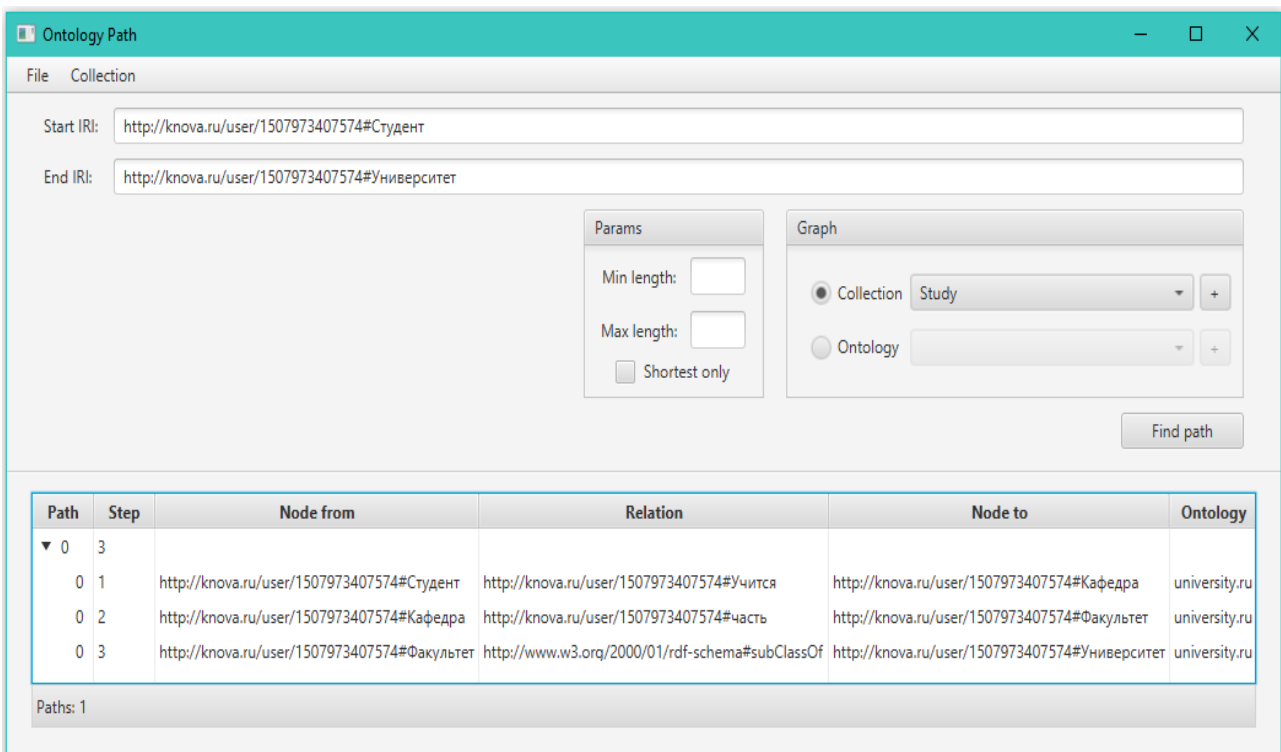
Для решения задачи о поиске пути между двумя концептами в коллекции онтологий было принято решение в использовании система OpenLink Virtuoso в качестве хранилища онтологий и механизма поиска путей, потому что это единственный из рассмотренных сервисов, который имеет общедоступную реализацию. Virtuoso SPARQL позволяет получить доступ к расширению транзитивности SQL Virtuoso, благодаря которому возможно задавать запросы на поиск пути между двумя концептами. Virtuoso RDF Quad Store – это собственная реализация хранилища RDF, которая хранится и реализуется в базе данных.

На этапе проектирования архитектуры приложения были выделены следующие компоненты: RDF хранилище; веб-сервис, предоставляющий API для загрузки онтологий в RDF хранилище, и для запросов поиска пути между концептами; клиентское приложение, предоставляющее обертку над параметрами запроса, и графический интерфейс для отображения путей. На рис. 1 представлена архитектура разработанного приложения.



**Рис. 1. Архитектура разработанного приложения**

Разработанный веб-сервис имеет два программных интерфейса. Первый предназначен для работы с онтологиями в RDF хранилище, который предоставляет возможность загрузки онтологий в формате OWL/XML. Второй интерфейс является непосредственно самим API для поиска путей в коллекции онтологий. Данный метод имеет следующие параметры: IRI начального концепта пути; IRI конечного концепта пути; список онтологий, в которых искать путь; максимальная длина пути; минимальная длина пути; искать самый короткий путь. В результате поиска будет возвращен список путей, где каждый путь будет иметь набор шагов со следующей структурой: IRI начального концепта на текущем шаге; IRI конечного концепта на текущем шаге; отношение, которым связаны концепты; флаг о том, является ли отношение обратным; название онтологии, в которой находится конечный концепт на текущем шаге; номер пути; номер шага. На рис. 2 представлен графический интерфейс поиска путей между понятиями.



**Рис. 2. Графический интерфейс поиска путей между понятиями**

## Перспективы

В перспективе запланирована интеграция с ранее разработанным адаптируемым сервисом предоставления доступа к сторонним онтологическим ресурсам в адаптивный визуальный графический редактор онтологий ОНТОЛИС 2.0, что позволит упростить навигацию в коллекции онтологических ресурсов как локальных, так и удаленных.

## Библиографический список

1. Чуприна С.И., Зиненко Д.В. ОНТОЛИС: адаптируемый визуальный редактор онтологий // Вестник пермского университета, № 3, 2013. С. 106-110.
2. Protégé [Электронный ресурс] URL: <https://protege.stanford.edu> (дата обращения: 10.10.2017).
3. WebProtégé [Электронный ресурс] URL: <https://webprotege.stanford.edu> (дата обращения: 12.10.2017).
4. Edison Ong, Zuoshuang Xiang, Bin Zhao. Ontobee: A linked ontology data server to support ontology term dereferencing, linkage, query and integration // Nucleic Acids Research, 2017. pp. 347-352.
5. Wikidata [Электронный ресурс] URL: [https://www.wikidata.org/wiki/Wikidata:Main\\_Page](https://www.wikidata.org/wiki/Wikidata:Main_Page) (дата обращения: 15.10.2017).
6. Трофимов И.В., Постаногов И.С. Разработка адаптируемого сервиса предоставления доступа к сторонним онтологическим ресурсам // Математика и междисциплинарные исследования Часть 1, 2017. С. 196-202.
7. Kochut K.J., Janik M. SPARQLeR: Extended Sparql for Semantic Association Discovery. // The Semantic Web: Research and Applications., 2007. pp. 145-159.
8. Thabet Slimani, Yaghlane B., Mellouli K. PmSPARQL : Extended SPARQL for Multi-paradigm Path Extraction // World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index, 2008. pp. 542-554.
9. Anyanwu K., Maduko A., Sheth A. SPARQ2L: Towards Support for Subgraph Extraction // WWW 2007, 2007. pp. 797-806.
10. OpenLink Virtuoso Universal Server Documentation [Электронный ресурс] URL: <http://docs.openlinksw.com/virtuoso> (дата обращения: 5.11.2017).

## DEVELOPING A WEB-SERVICE FOR FINDING PATHS BETWEEN CONCEPTS IN A COLLECTION OF ONTOLOGIES

*Trofimov Ilya V., Postanogov Igor S.*

Perm State University, st. Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990, itrofimov.iv@yandex.ru

We present a designed and implemented web-service for finding paths between concepts in a collection of ontologies. This service is a part of an adaptive service for navigation in ontology collections. Methods of searching paths between concepts in ontologies were considered. Transitive extension of the SPARQL language from Virtuoso was chosen. We described an architecture of our system and presented a prototype of its GUI – the future component of the ontology editor ONTOLIS 2.0. The service can also be used in navigation systems to check the integrity of the ontology after clustering, as well as a component for constructing intelligent prompts or providing autocomplete in SPARQL editors.

Keywords: ontology, navigation in the ontology collection, SPARQL.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ТРАНСФОРМАЦИИ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫХ ЗАПРОСОВ В SPARQL-ЗАПРОСЫ**

*Турова Ирина Алексеевна, Постановов Игорь Сергеевич*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, [turovaia@yandex.ru](mailto:turovaia@yandex.ru)

В работе рассмотрены аспекты разработки естественно-языковых (ЕЯ) вопросно-ответных систем, связанные с отладкой методов трансформации ЕЯ-запроса в запрос на формальном языке. Обозначена проблема сложности отладки из-за отсутствия наглядности используемых при трансформации промежуточных представлений запроса. В связи с этим предложен подход к решению указанной проблемы посредством использования промежуточного графового представления запроса с возможностью визуализации в интерфейсе. Представлена система трансформации ЕЯ-запросов в SPARQL-запросы, реализующая предложенный подход. Разработанное промежуточное графическое представление дополнено возможностью редактирования запроса, позволяющей реализовать поэтапную трансформацию и упрощающей процесс отладки. Состоятельность подхода протестирована с использованием метода трансформации ЕЯ-запроса посредством сопоставления с шаблоном. Приведены преимущества использования промежуточного графического представления как средства отладки ЕЯ-интерфейса, а также достоинства совместного использования ЕЯ-интерфейса и графического представления запроса подготовленными пользователями. Разработанная система может быть использована как разработчиками методов трансформации ЕЯ-запросов для их отладки, так и экспертами предметной области для составления SPARQL-запросов.

**Ключевые слова:** естественно-языковой интерфейс, трансформация естественно-языковых запросов, онтология, SPARQL, визуальное промежуточное представление.

В настоящее время широко распространены голосовые помощники такие как Siri, Google Assistant, Microsoft Cortana, Amazon Alexa и т.п. Подобные вопросно-ответные системы принимают от пользователя запрос на естественном языке в письменном или голосовом виде, трансформируют запрос во внутреннее представление и предоставляют пользователю результат его выполнения. Тенденция внедрения в информационные системы естественно-языковых (ЕЯ) интерфейсов для доступа к структурированным данным появилась в еще в 80-90-х годах прошлого столетия и является актуальной и в настоящее время [1, 2]. Наличие в информационной системе интерфейса для задания запросов на естественном языке делает работу в системе доступной для неподготовленных пользователей, не владеющих формальными языками запросов (SQL, SPARQL). Также данные в структурированных источниках могут иметь большую и сложную структуру и храниться в неудобном для человека виде, например, нормализовано, что затрудняет составление запросов на формальных языках даже для специалистов.

---

Исследование выполнено при финансовой поддержке Правительства Пермского края в рамках научного проекта №С-26/004.08.

© Турова И.А., Постановов И.С., 2018



Трансформация ЕЯ-запроса в запрос на некотором формальном языке – трудоёмкая задача, требующая комплексного подхода, поэтому удобно разбить процесс преобразования на несколько этапов. Так как любой алгоритм трансформации ЕЯ зависит прежде всего от применяемого метода трансформации и целевого формального языка, целесообразно ввести некоторое универсальное промежуточное представление и разделить процесс трансформации на два этапа: преобразование исходного ЕЯ-запроса в промежуточное представление и преобразование запроса из промежуточного представления в формальный язык.

Трудоёмким этапом в процессе реализации ЕЯ-интерфейса является его отладка. В процессе тестирования разработчику необходимо видеть не только конечный результат преобразования на формальном языке, но и некоторые промежуточные преобразования ЕЯ-запроса для оценки соответствия результата исходному ЕЯ-запросу и особенностям метода. Сейчас эта проблема зачастую решается с помощью отладочного вывода или пошагового выполнения программы. Недостатками такого подхода являются отсутствие наглядности, громоздкость отладочной информации, а также затруднение отладки этапов трансформации по отдельности.

В данной работе мы представляем ЕЯ-интерфейс для задания запросов к онтологиям с использованием при трансформации ЕЯ-запроса в формальный язык запросов SPARQL [3] визуализированное в интерфейсе промежуточное графовое представление. Также помимо визуализации было решено наделить промежуточное графическое представление ЕЯ-запроса возможностями редактирования запроса: добавлением в запрос новых понятий и отношений из используемой онтологии, наложением ограничений на свойства понятий, а также выделением свойств, значения которых должны быть спроецированы в SPARQL-запросе. Данный интерфейс приближен по функционалу к подтвердившим своё удобство графическим интерфейсам для составления запросов к базам данных [4].

Использование онтологий в качестве целевого источника данных обусловлено прежде всего удобством представления знаний. В отличие от баз данных и понятия, и отношения между ними явно присутствуют в онтологии и именуется, что упрощает процедуру выявления в ЕЯ-запросе терминов предметной области. При необходимости данную систему можно в полуавтоматическом режиме настроить на работу с базами данных с использованием технологии OBDA [5] и сохранить при этом все преимущества работы с онтологиями даже после изменения целевого источника данных.

Так как онтология естественным образом представляется в виде графа понятий и отношений между ними, было решено визуализировать промежуточное графическое представление запроса в виде графа онтологии с выделенными входящими в запрос концептами и связями, а также списка ограничений на значения свойств. Тогда в результате разбора ЕЯ-запроса выявленные термины предметной области будут однозначно отображены на граф онтологии, а ограничения добавлены в соответствующий список. При преобразовании из промежуточного представления в SPARQL-запрос выделенные концепты и связи будут добавлены в основной графовый шаблон запроса, а список ограничений преобразуется в набор фильтров запроса.

Для тестирования состоятельности предложенного подхода в качестве метода трансформации ЕЯ-запроса в промежуточное представление был выбран подход с применением predefined шаблонов, и составлено несколько простых правил [6]. Для демонстрации работы системы была разработана онтология предметной области «Университет». На рисунке приведены результаты разбора запроса «Выдать студентов с факультета механико-математический, где средний балл больше 4». Исходный запрос был сопоставлен с шаблоном, и были выделены понятия «Студент», «Факультет» и отношение «учится\_на», а также два ограничения: на средний балл студента и название факультета. Полученное промежуточное представление было успешно преобразовано в SPARQL-запрос.

Для каждого понятия онтологии могут быть определены релевантные свойства, поэтому в проекцию запроса попали также свойства «Имя» и «Фамилия» понятия «Студент».

The screenshot shows a software interface for an ontology query editor. The window title is "Прототип ЕЯ-интерфейса с промежуточным графическим представлением". It features a menu bar with "File" and "Tools", a text input field containing the query "Выдать студентов с факультета механико-математический, где средний балл больше 4", and a "Parse query" button. The main area is split into two parts: on the left, a graphical representation of the query showing nodes for "Факультет", "Студент", and "Университет" connected by relationships like "учится\_на" and "принадлежит\_к"; on the right, a text area showing the corresponding SPARQL query and a table of the query's structure.

Class	Property	Operator	Value
Студент	Средний_балл	GREATER	4
Факультет	Название	EQUAL	механико-математический

**Рис. 1** Пример работы приложения

Разработанный интерфейс (Рис 1) позволяет наглядно представлять промежуточные результаты разбора ЕЯ-запроса, что безусловно облегчает отладку ЕЯ-интерфейса и ускоряет выявление ошибок и неточностей в методе. Также промежуточное графическое представление может быть использовано отдельно от ЕЯ-составляющей, так как оно является полноценным средством составления запросов к онтологиям. После завершения этапа отладки ЕЯ-интерфейса графическая составляющая будет скрыта от конечного пользователя, однако можно поддерживать несколько режимов составления запросов и сделать интерактивное визуализированное представление доступным для подготовленных пользователей. Такой режим работы сочетает в себе преимущества как ЕЯ-интерфейсов, так и графических средств составления запросов. ЕЯ-составляющая нивелирует недостатки графических интерфейсов при работе с объемными источниками данных, а при подключении внешних онтологических источников, например, для выявления синонимичных понятий, значительно повышает качество разбора запроса. Наличие графического интерфейса позволяет выявлять некорректные или неполные результаты разбора ЕЯ-запроса и редактировать запрос в графическом представлении, что исключает необходимость переформулировать ЕЯ-запрос.

Наличие удобного прямого способа задания промежуточного графического представления запроса позволяет выполнять поэтапную реализацию метода трансформации: можно по отдельности реализовывать модуль преобразования промежуточного представления в формальный язык запросов и модуль трансформации ЕЯ-запроса в промежуточное представление. Такой подход упрощает переход к другому целевому формальному языку или идейно другому методу разбора ЕЯ-запроса.

В дальнейшем планируется расширять возможности графического представления, например, добавить поддержку фильтров для свойств с диапазоном «перечисление», а также других типов логических связей помимо конъюнкции. Для повышения качества разбора ЕЯ-запросов возможно подключение к сторонним источникам для выявления эквивалентных понятий. Также возможно дополнение системы несколькими модулями трансформации ЕЯ-запроса в промежуточное представление, например, с применением синтаксических и морфологических анализаторов [7].

## Библиографический список

1. *Copestake A., Jones K. S.* Natural language interfaces to databases //The Knowledge Engineering Review. 1990. Т. 5. №. 4. С. 225-249.
2. *Чуприна С. И., Постаногов И. С.* Концепция обогащения унаследованных информационных систем сервисом запросов на естественном языке // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2015. №. 2. С. 78.
3. SPARQL Query Language for RDF [Электронный ресурс] // W3C Recommendation: [сайт]. [2008]. URL: <http://www.w3.org/TR/2008/REC-rdf-sparql-query-20080115/> (дата обращения: 24.02.2018).
4. *Catarci T. et al.* Visual query systems for databases: A survey // Journal of Visual Languages & Computing. 1997. Т. 8. №. 2. С. 215-260.
5. *Черняев А.С., Постаногов И.С.* Автоматизация построения отображения предметных онтологий на элементы схемы реляционной базы данных // Математика и междисциплинарные исследования: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. 2017. С. 248-254.
6. *Radoev N. et al.* Answering natural language questions on RDF knowledge base in French // 7th open challenge in Question Answering over Linked Data (QALD-7). 2017.
7. *Wang C. et al.* Panto: A portable natural language interface to ontologies // European Semantic Web Conference. Springer, Berlin, Heidelberg. 2007. С. 473-487

## USING THE VISUAL GRAPHICAL REPRESENTATION IN SYSTEMS THAT TRANSFORM NATURAL LANGUAGE QUERIES INTO SPARQL QUERIES

*Turova Irina A., Postanogov Igor S.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, [turovaia@yandex.ru](mailto:turovaia@yandex.ru)

The paper is concerned with the development of question-answering systems. One of the relevant phases of the process is debugging of the methods that transform natural language (NL) query into a formal language. However, the common approaches still involve severe difficulties due to the lack of clarity of the intermediate representations of the query used in the transformation process. We propose an approach to tackle this problem by using an intermediate graphical representation of the query with a possible visualization in the interface and present a prototype of a system that transforms NL-queries into SPARQL-queries. Furthermore, the developed intermediate graphical representation is made editable; this allows to implement a phased transformation and simplifies the debugging process. The feasibility of the approach was exemplified by using a pattern-matching method of transformation. The advantages of using the intermediate graphical representation as the NL-interface debugging tool, as well as the benefits of combining the NL-interface and graphical representation of the query for advanced users' needs are discussed. The presented system can be used by developers of natural language transformation methods for debugging proposes or by domain experts as a constructor of SPARQL-queries.

Keywords: natural language interface, transformation of natural language queries, ontology, SPARQL, visual graphical representation.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МЕТОДЫ DSL, ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

*Ушакова Дарья Евгеньевна*

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, 614070, Россия,  
г. Пермь, ул. Студенческая, 38, d.ushakova@xsolla.com

В статье рассматриваются технологии создания безрисковых процессов с применением метода имитационного моделирования, который позволит определить «узкие места» в исследуемом бизнес-процессе. Предлагается использовать программные средства, реализующие настройку на конкретную предметную область (DSM-Domain Specific Model), программные средства имитационного моделирования и методологию ROPE (Risk-Oriented Process Evaluation) для создания моделей бизнес-процессов, в которых снижена вероятность возникновения рисков. Описаны задачи и требования, которые необходимо учесть при создании визуального языка для управления рисками бизнес-процессов. В статье описывается применение онтологий, для извлечения из нее рекомендаций по минимизации и устранению рисков.

Ключевые слова: безрисковые бизнес-процессы, анализ рисков бизнес-процессов, имитационное моделирование, DSL, методология ROPE, система MetaLanguage

Известно, что риски могут возникать практически в любом бизнес-процессе и для того, чтобы исключить их влияние на выполнение бизнес-процесса, требуется грамотно управлять рисками, определить, при каких условиях появление риска будет наиболее вероятным и попытаться изменить эти условия, устраняя возможность появления риска.

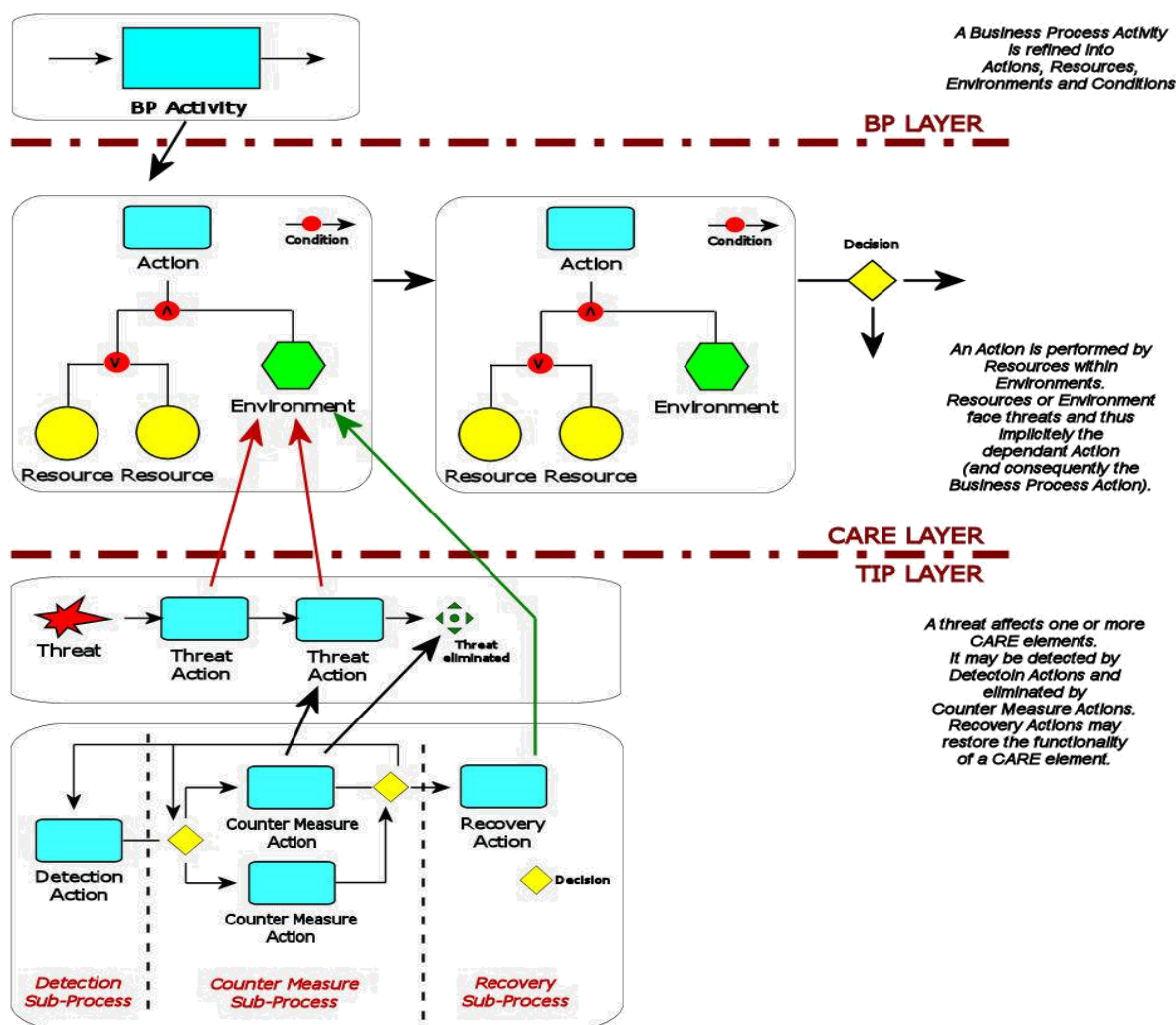
Для выявления рисков предлагается использовать метод имитационного моделирования. Он позволяет выявить «узкие места» в бизнес-процессе, например, определить возможность нехватки ресурсов (нехватки материалов), возможность возникновения простоев, возможность слишком медленного выполнения ряда операций и т.д.

В качестве инструментального средства имитационного моделирования авторы используют AnyLogic – это инструмент имитационного моделирования, который поддерживает ориентированную на процессы, агентную парадигму моделирования, а также дает возможность решать самый широкий спектр задач в различных областях. Система имитационного моделирования AnyLogic предоставляет пользователю удобный графический интерфейс, обширный набор библиотек для разработки моделей и средства анализа результатов моделирования. Однако, для того чтобы можно было с этим инструментом эффективно работать специалистам в области проектирования бизнес-процессов, есть необходимость изменить визуальную модель AnyLogic. Вместо обычной модели AnyLogic, разумно выбрать известную для аналитиков и экспертов нотацию, то есть выполнить настройку на конкретную предметную область.

При разработке бизнес-процессов аналитики обычно используют одну из нотаций: IDEF0, IDEF3, DFD, BPMN (The Business Process Modeling Notation) и т.д. Предполагается, что аналитик, разрабатывающий бизнес-процесс и определяющий возможность появления рисков при реализации бизнес-процесса, дополняет выбранную нотацию специальными символами, указывающими на операцию бизнес-процесса, которую необходимо подробно

исследовать и применить соответствующие контрмеры для дальнейшей минимизации возникновения угроз.

Подобный подход принят в методологии ROPE (Risk-Oriented Process Evaluation), которая предназначена для преодоления разрыва между моделированием бизнес-процессов и управлением рисками. Рис. 1 схематично представляет три уровня моделирования. Уровень бизнес-процессов, описывает деятельность организации, уровень CARE (Condition, Action, Resource, Environment) – компоненты деятельности (условия, действия, ресурсы, среда) и TIP (Threat Impact Process) уровень. Уровень TIP предназначен для описания угроз (рисков), которые могут повлиять на деятельность организации, а также, контрмер, которые могут в какой-то мере смягчить последствия возникновения рисков [1].



**Рис.1. Уровни моделирования методологии ROPE**

Основным недостатком подхода к моделированию рисков ROPE является то, что построенная модель процесса ориентирована на риски, связанные с нехваткой ресурсов, и деятельность по предотвращению подобных угроз выполнению процесса. Применение ROPE возможно только для управления рисками простых процессов, так как для описания сложной, многосторонней деятельности может быть недостаточно предлагаемых функциональных возможностей. Таким образом, необходим инструментарий, который позволит настраиваться на конкретную предметную область и персонализировать интерфейс.

Стоит отметить, что авторы подхода к моделированию рисков ROPE определяют возможные угрозы и методы по их устранению лишь на основе исторических данных, связанных с бизнес-процессом. Появляется вероятность того, что не все контрмеры могут

быть задействованы для устранения последствий возникновения рисков. Для решения данной задачи, можно произвести систематизацию рисков бизнес-процесса, которая послужит основой для разработки онтологии рисков [11]. В онтологии представлены сами риски, их возможные последствия, предложения по минимизации возникших последствий и способы предотвращения рисков в случае, если об их реализации будет известно заранее [2].

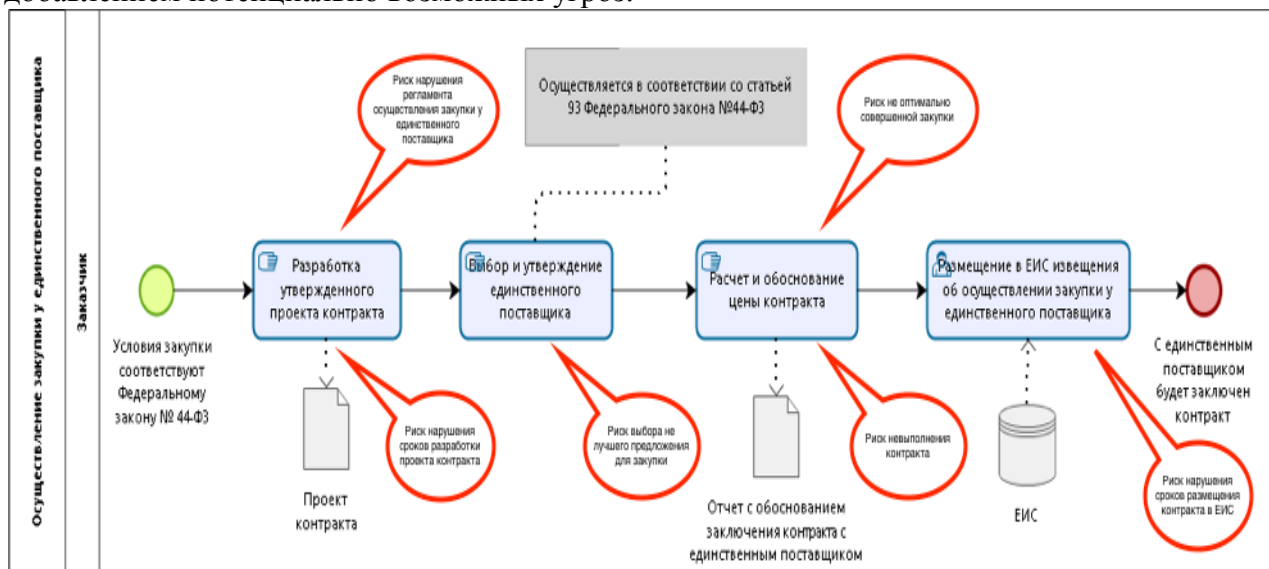
Реализация предложенного подхода предполагает необходимость разработки специального визуального языка для описания моделей бизнес-процессов, в котором стандартные конструкции визуального языка моделирования должны быть дополнены специальными символами.

Для создания нового языка (DSL) необходимо выбрать DSM-платформу (языковой инструментарий), удовлетворяющую следующим требованиям:

- возможность построения языков моделирования для различных предметных областей, в частности для моделирования и создания безрисковых бизнес-процессов;
- возможность реализации мультязыкового и многоуровневого моделирования;
- возможность изменения языков моделирования.

Этим требованиям удовлетворяет система MetaLanguage [4, 5, 6], где пользователь может не только разработать DSL и построить модели с использованием этого языка, но и определить правила трансформаций (преобразования) построенных моделей в другие нотации, например, перевести на язык системы имитационного моделирования [4]. Стоит отметить, что для разработки языка и задания правил трансформации не требуется, чтобы аналитик обладал высокой квалификацией в области программирования.

Применение предлагаемой в настоящей статье методологии будем рассматривать на конкретном бизнес-процессе: проведения государственных закупок. Возьмем его часть «Осуществление закупки у единственного поставщика» (Рис.2). После построения бизнес-процесса в любой нотации (в данном случае, в нотации BPMN), появляется необходимость преобразовать исходную модель бизнес-процесса с помощью правил MetaLanguage, с добавлением потенциально возможных угроз.



**Рис.2. Бизнес-процесс «Осуществление закупки у единственного поставщика» с возможными угрозами**

Далее, необходимо произвести моделирование на AnyLogic. Данный процесс позволит удостовериться, что изменения в исходной модели позволили избежать возникновение рисков (угроз) в бизнес-процессе. Бизнес-процесс "Осуществление закупки у единственного поставщика" на AnyLogic представлен на рис. 3.

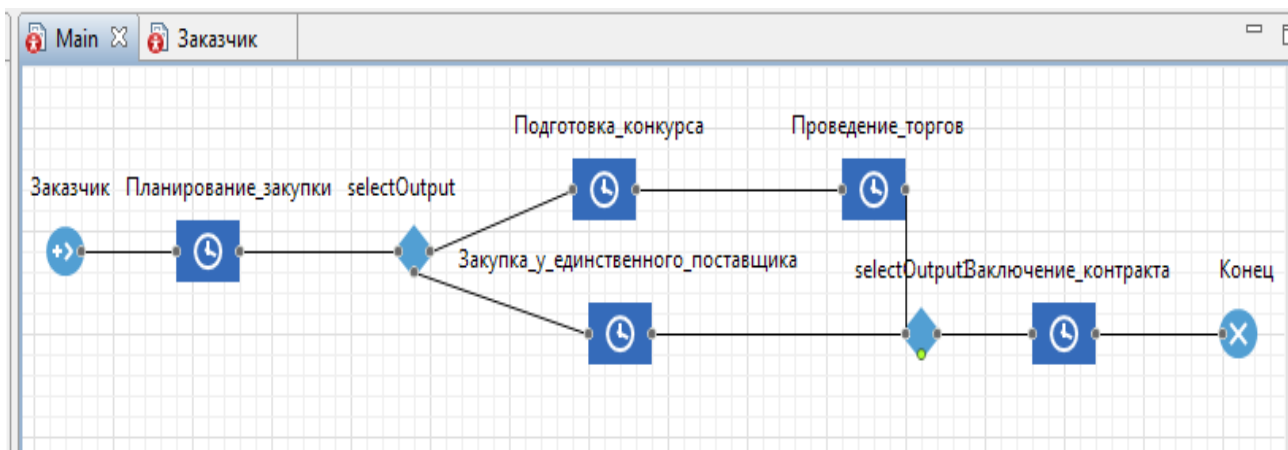


Рис.3. Бизнес-процесс «Осуществление закупки у единственного поставщика» на AnyLogic

Результатом имитационного эксперимента являются сведения о рисках, которые могут возникнуть в бизнес-процессе. Используя онтологию рисков, можно определить класс, к которому относится конкретный риск. Используя рекомендации к устранению рисков (или снижению их негативных последствий), можно внести изменения в исходную модель бизнес-процесса и повторить имитационный эксперимент. Этот итерационный процесс будет повторяться до тех пор, пока не достигнет того, что имитационный эксперимент продемонстрирует функционирование модели бизнес-процесса, в котором вероятность возникновения рисков минимальна.

#### Библиографический список

1. *Jakoubi S., Tjoa S., Quirchmayr G.* Rope: A Methodology for Enabling the Risk-Aware Modelling and Simulation of Business Processes // 15th European Conf. Information Systems – 2007. pp. 1596-1607
2. *Замятина Е.Б., Ушакова Д.Е., Фролова В.Ю.* Опыт разработки программных средств для создания безрисковых бизнес-процессов// Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2017. №4 (39). С. 96-101.
3. *Замятина Е.Б., Лядова Л.Н., Сухов А.О.* Сультиязыковое моделирование с использованием DSM платформы Metalanguage// Информация и связь. 2013. №5. С. 11-14.
4. *Замятина Е.Б., Лядова Л.Н., Сухов А.О.* Интеграция информационных систем и систем имитационного моделирования на основе многоуровневых моделей// Технологии разработки информационных систем (ТРИС- 2013): материалы конференции. Том1. – Таганрог: Изд-во Технологического института ЮФУ, 2013. С. 61-70
5. *Balasubramanian K., Schmidt D.C., Molnar Z., Ledeczi A.* Component-Based System Integration via (Meta)Model Composition // Proceedings of the 14th Annual IEEE International Conference and Workshops on the Engineering of Computer-Based Systems (ECBS'07). Tucson, Arizona. March 26-29, 2007. P. 93-102.
6. *Bräuer M., Lochmann H.* Towards Semantic Integration of Multiple Domain-Specific Languages Using Ontological Foundations // Proceedings of the 4th International Workshop on (Software) Language Engineering (ATEM'07), Nashville, 2007. 15 pp.
7. *Лядова Л.Н., Серый А.П., Сухов А.О.* Подходы к описанию вертикальных и горизонтальных трансформаций метамodelей // Математика программных систем: меж- вуз. сб. науч. ст. – 2012. – Вып. 9. – С. 33-49.
8. *Sukhov A.O., Lyadova L.N.* Horizontal Transformations of Visual Models in MetaLanguage System // Proc. of the 7th Spring/Summer Young Researchers' Colloquium on Software Engineering. М.: Изд-во Инст. сист. прогн. РАН, 2013. – P. 31-40.

9. *Elokhov E., Uzunova E., Valeev M., Yugov A., Lanin V.* An Approach to the Selection of DSL Based on Corpus of Domain-Specific Documents // Proc. of the 7th Spring/ Summer Young Researchers' Colloquium on Software Engineering. М.: Изд-во Инст. сист. прогр. РАН, 2013. – Р. 139-143.
10. *Сухов А.О.* Интеграция систем имитационного моделирования и предметно-ориентированных языков описания бизнес-процессов // Математика программных систем: межвуз. сб. науч. ст. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2009. – Вып. 6. – С. 79-84.
11. *Ломакина О.Б.* Риск-менеджмент при проведении государственных закупок. – М., 2003. – 152 с.

## **DEVELOPMENT OF SOFTWARE TOOLS USING DSL METHODS TO REDUCE BUSINESS PROCESS RISKS**

*Ushakova Daria E.*

National Research University Higher School of Economics, Studencheskaya st., 38, Perm, Russia,  
614070, d.ushakova@xsolla.com

The article is devoted to the technology of creating risk-free business processes and the description of simulation modeling method which can be used to define the possible bottlenecks in the chosen business process. The article suggests to use software and implement ROPE method in creating risk free business processes. The article touches upon the tasks and requests that should be taken into account while creating a DSM-platform and the development of high-level DSL (Domain Specific Languages) for creating models. The key features for DSL creation are described, in particular, DSL can solve issues almost in any area, can operate according to subject domains and user experience. The author also mentions the implementation of ontology, that may in the future afford to minimize and eliminate the risks in a particular business process.

**Keywords:** risk-free business processes, business process risk analysis, simulation modeling, DSL, ROPE methodology, MetaLanguage



## ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ И АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЛЕГКОВЕСНЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

*Фетисов Константин Вадимович, Максимов Петр Викторович*

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, k.v.fetisov@inbox.ru

В статье представлено применение топологической оптимизации и аддитивных технологий изготовления легковесных аэрокосмических изделий. Как показывает практика, совместное применение данных нововведений в аэрокосмической отрасли в некоторых случаях позволяет существенно улучшить как механические, так и экономические характеристики изделий. Вначале дается краткий обзор алгоритма топологической оптимизации SIMP: основа алгоритма, используемые параметры и тонкости практического применения. Для анализа влияния параметров алгоритма на результаты был разобран пример топологической оптимизации двумерной области, в качестве практического применения была выполнена оптимизация аэрокосмического кронштейна. Представлена методика проектирования изделий с применением топологической оптимизации для последующего изготовления аддитивными технологиями. Данная методика была опробована на сложном сборочном узле. В результате массу сборочного узла удалось облегчить в пять раз, а двадцать деталей заменить на одну.

Ключевые слова: вычислительная механика, оптимальное проектирование, топологическая оптимизация, аддитивные технологии.

В аэрокосмической промышленности одним из важных критериев эффективности является масса изделия, сокращение которой снижает расход топлива, выбросы загрязняющих веществ и увеличивает грузоподъемность. Для увеличения эффективности изделий можно использовать топологическую оптимизацию и аддитивную технологию изготовления.

Топологическая оптимизация (ТО) – это метод оптимизации, который вычисляет оптимальное распределение материала в области проектирования при заданных граничных условиях. Существует большое количество как алгоритмов ТО, так и специализированного программного обеспечения. Алгоритм Solid Isotropic Material with Penalization (SIMP) является одним из наиболее часто используемых алгоритмов на практике. Алгоритм SIMP полностью описан в книге [1]. Он основан на методе конечных элементов, где для решения задачи оптимизации вводится специальный параметр псевдоплотности конечного элемента (КЭ), который определяет модуль упругости:

$$E_e(x_e) = E_{\min} + x_e^p (E_0 - E_{\min}), x_e \in [0,1] \quad (1)$$

где  $E_0$  – модуль упругости материала,  $E_{\min}$  – модуль упругости на пустой области,  $p$  – штрафной параметр. Математическая постановка алгоритма ТО SIMP:

---

Публикация подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор №02.G25.31.0168 от 01.12.2015 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

© Фетисов К.В., Максимов П.В., 2018

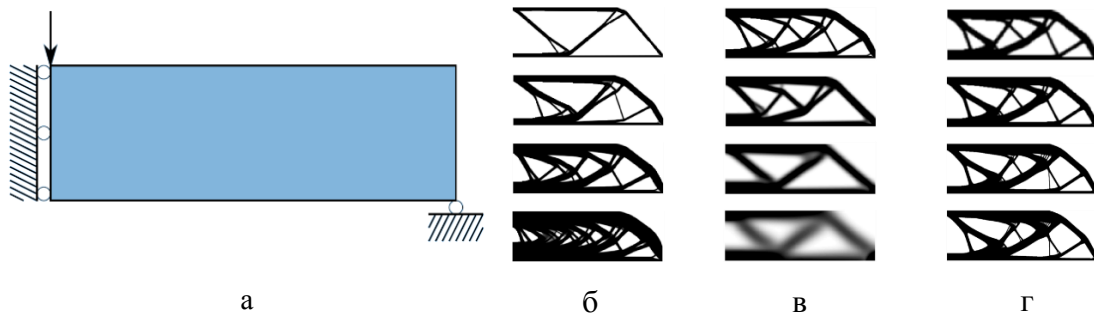
$$c(x) \rightarrow \min,$$

$$c(x) = U^T K U = \sum_1^n E_e(x_e) u_e^T k_0 u_e, \quad (2)$$

$$\begin{cases} V(x)/V_0 = f \\ K U = F \\ 0 \leq x_e \leq 1 \end{cases}$$

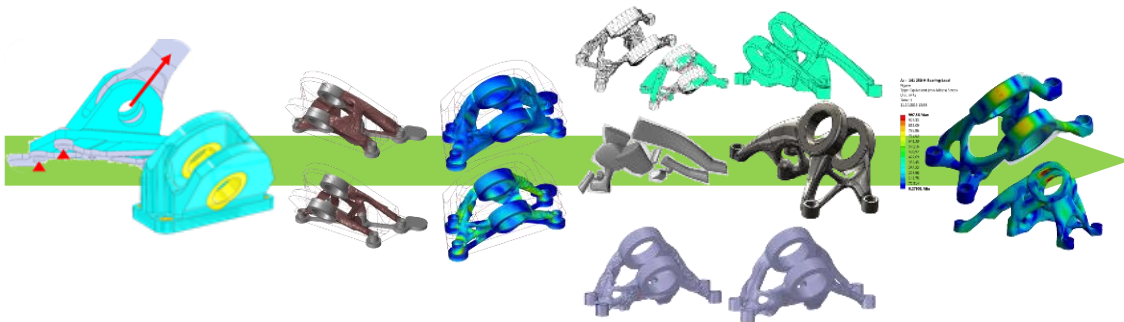
где  $c$  – податливость системы,  $U$  и  $F$  – глобальные векторы перемещений и сил,  $K$  – глобальная матрица жесткости,  $u_e$  – вектор перемещений КЭ,  $k_0$  – матрица жесткости КЭ,  $x_e$  – псевдоплотность КЭ,  $N$  – количество КЭ,  $V_0$  – начальный объем,  $V_x$  – конечный объем,  $f$  – заданная доля снижения объема.

На рис.1 представлено влияние основных параметров алгоритма ТО SIMP на результаты оптимизации. Основным параметром, влияющим на жесткость и прочность конструкции, является доля снижения объема, а за технологичность результатов отвечает количество используемых КЭ и радиус фильтрации для сглаживания решения. Для эффективного решения задачи ТО необходимо создание экономичной и адекватной КЭ модели, а также подбор параметров алгоритма SIMP исходя из условий к прочности, жесткости и технологичности конструкции.



**Рис. 1** Топологическая оптимизация двумерной области: а – расчетная схема; б – результаты ТО с различной долей снижения объема; в – результаты ТО с различным радиусом фильтрации решения; г – результаты ТО с различным количеством КЭ.

На рис. 2 представлен процесс ТО авиационного кронштейна, где можно выделить четыре этапа: подготовка данных для ТО (данные о действующих нагрузках и ограничениях, технологические ограничения, свойства материалов), топологическая оптимизация и предварительные расчеты, создание оптимальной геометрии, проверочные КЭ расчеты. С практическим применением ТО в аэрокосмической отрасли можно ознакомиться в статьях [2, 3].



**Рис. 2** Топологическая оптимизация авиационного кронштейна.

При ТО сложных трехмерных конструкции оптимальная топология может быть достаточно сложной формы, а при ее изготовлении следует использовать аддитивные

технологии (АТ), например, селективное лазерное сплавление (СЛС) металлического порошка. Использование новых технологий изготовления требует новых подходов к проектированию. Примеры аддитивного проектирования (т.е. проектирование под последующее изготовление АТ) представлено в статье [4]. Основные этапы аддитивного проектирования представлены на рис. 3. Пример аддитивного проектирования представлен на рис. 4.

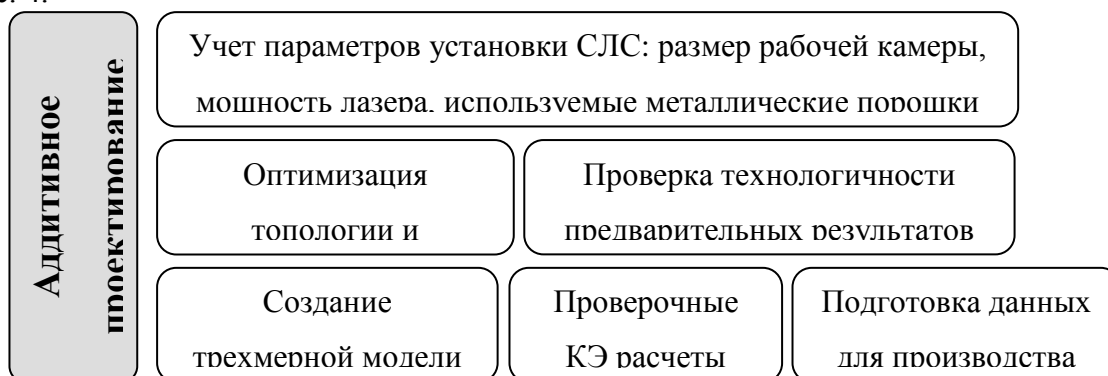


Рис.3 Основные этапы проектирования для аддитивной технологии изготовления.

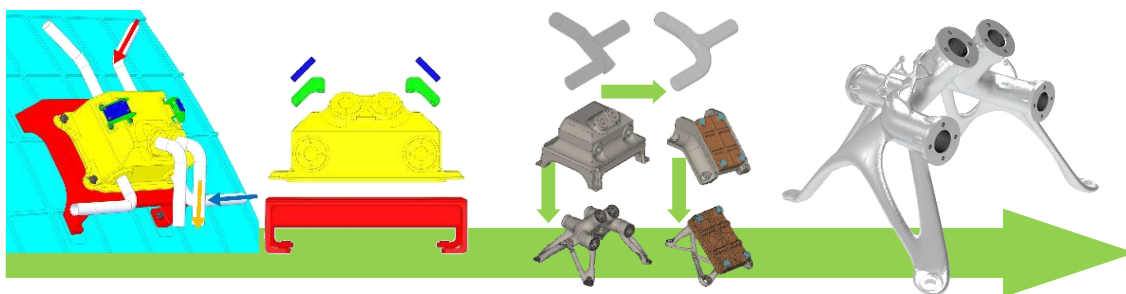


Рис. 4 Аддитивное проектирование сборочного узла.

При аддитивном проектировании стало возможным использование сложных форм, недоступных традиционным технологиям изготовления. Это главное преимущество можно широко использовать на практике. Так на рис. 4 представлено объединение двадцати деталей в одну, улучшение формы внутренних каналов, а также улучшение механических характеристик изделий благодаря ТО. Это позволило облегчить данный сборочный узел в пять раз.

Описанные методики можно использовать для проектирования современных и высококачественных изделий аэрокосмической отрасли.

#### Библиографический список

1. *Bendsøe, M. P.* Optimization of Structural Topology, Shape, and Material // Springer. 1995. 267 p.
2. *Faskhutdinov R.N., Dubrovskaya A.S., Dongauzer K.A., Maksimov P.V., Trufanov N.A.* Topology optimization of a gas-turbine engine part / IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 177 012077. 2017.
3. *Dubrovskaya A., Dongauzer K., Faskhutdinov R.* The design of lightweight gas turbine engine parts using topology optimization / MATEC Web of Conferences 129, 01067. 2017.
4. *Orquera M., Campocasso S., Millet D.* Design for additive manufacturing method for a mechanical system downsizing / Procedia CIRP 60. 2017.

# **PRACTICAL APPLICATION OF TOPOLOGY OPTIMIZATION AND ADDITIVE MANUFACTURING ON THE EXAMPLE OF LIGHTWEIGHT AEROSPACE PARTS**

*Fetisov Konstantin V., Maksimov Petr V.*

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614990,  
k.v.fetisov@inbox.ru

The article presents the application of topology optimization and additive manufacturing for production of lightweight aerospace parts. As practice shows, these innovations in aerospace industry in some cases can improve both the mechanical and economic characteristics of products. First, a brief overview of topology optimization algorithm SIMP was given: the basics of the algorithm, parameters descriptions and practical issues. To demonstrate the effect of the parameters of the algorithm, we analyzed an example of topology optimization of a two-dimensional domain, and also the practical application is shown in an example of aerospace bracket. Further, the main advantages of additive manufacturing technologies and their use in the design of products are indicated. The design methodology is presented with application of topology optimization for the subsequent manufacturing of additive technologies. In conclusion, this technique was shown for the case of an assembly unit. As a result, the mass of the assembly unit was alleviated fivefold, and twenty parts replaced by one.

Keywords: computational mechanics, optimal design, topology optimization, additive manufacturing.

## ВЫСОКОУРОВНЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ОБУЧЕНИИ ОСНОВАМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

*Хакимуллина Анжелика Альвертовна, Дацун Наталья Николаевна*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, anzhelika.khakimullina@psu.ru

В настоящей работе рассмотрена проблема написания грамотного и структурированного программного кода людьми, которые обучаются основам программирования. Для ее решения предложено создание программного средства для обучения, которое позволяет генерировать по высокоуровневой спецификации исходный код, необходимый для демонстрации, сравнения и анализа структуры программного кода. Рассмотрены пользовательское и внутреннее представления, генерируемые языки, преимущества и недостатки существующих инструментальных средств генерации исходного кода. В ходе анализа сделан вывод о том, что необходимо использовать спецификацию IDEF0 в качестве представления пользователя, потому что она является интуитивно понятной и простой. В результате получен прототип исследуемого программного средства, сделан вывод о дальнейших перспективах данной работы.

Ключевые слова: спецификация IDEF0, генерация кода, обучение основам программирования.

С каждым годом все большее число людей приобщается к программированию. Их знакомство с написанием программного кода начинается с изучения конструкций языков программирования. Но знание лишь синтаксиса языка не гарантирует грамотное, структурированное написание программного кода. Программа может выполнять свою работу корректно, но её исходный код является сложным для восприятия и чтения человеком. Для того чтобы программный код приобрел хорошо отслеживаемую логику, прежде всего, нужна практика, которая требует времени. Зачастую в учебных учреждениях, где готовят ИТ-специалистов, не предусмотрено столько часов практики, сколько необходимо для приобретения навыка написания хорошо структурированных программ. В этом случае учебному процессу могут помочь различные средства обучения.

Обратившись к исследованиям П.Я. Гальперина, можно сделать вывод, что на этапе ознакомления с новым материалом могут быть выделены ориентировочные основы действий трех типов [1]:

- на основе образца действия;
- образцы действий и указания, как выполнять действия с новым заданием;
- обучение анализу новых заданий.

Целью данной работы является разработка программного средства обучения второго типа, которое позволяет генерировать по высокоуровневой спецификации исходный код, необходимый для демонстрации, сравнения и анализа структуры программного кода.

К разрабатываемому средству предъявляются следующие требования: пользовательское представление понятно человеку любого уровня компетенции в сфере программирования, наличие возможности генерации исходного кода по высокоуровневому представлению. На данный момент существует несколько инструментальных средств,

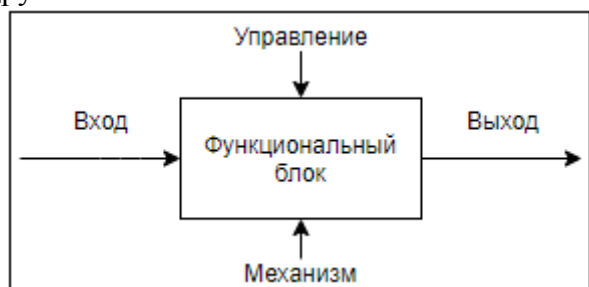
которые позволяют на основе высокоуровневых спецификаций генерировать исходный код. Их сравнение представлено в Таблица:

**Таблица 1. Инструментальные средства для генерации исходного кода**

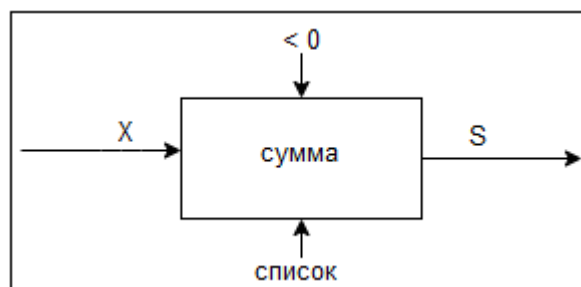
	<b>MetaAuto[2]</b>	<b>Flexberry Designer[3]</b>	<b>QReal[4]</b>	<b>MetaLanguage [5]</b>
Представление пользователя	Граф переходов	Диаграмма классов	Диаграмма активностей	Граф «сущность-связь»
Внутреннее представление	XML-формат	Объектная метамодель (C#), JSON (JavaScript)	Представление в виде графа	Объектная метамодель
Генерируемый язык	Любой	C# и JavaScript	C#	Любой
Преимущества	Возможность генерации в любой язык	Возможность увеличения числа языков генерации	Генерация кода программы, отражающего динамические аспекты системы	Возможность генерации в любой язык
Недостатки	Высокие требования к уровню компетенции пользователя	Коммерческий продукт	Неструктурированность диаграммы, неоднозначность генерации	Требуется эксперт для создания метаязыка

Ни одно из вышеуказанных пользовательских представлений не подходит для людей, которые только знакомятся с программированием. Поэтому в основу программного средства обучения была взята высокоуровневая спецификация IDEF0 методологии SADT, с помощью которой можно спроектировать процессы любой предметной области, примерами могут служить работы [6] и [7].

В основе методологии лежат четыре основных понятия: функциональный блок, интерфейсная дуга, декомпозиция, глоссарий [8]. В IDEF0 каждый функциональный блок имеет четыре дуги, которые означают вход, выход, управление и механизм (см. Рис. 1). В настоящей работе блок – это алгоритм, а его дуги означают входные и выходные параметры, условие и структуру данных соответственно (см. Рис. 2). С помощью интерфейсных дуг описывается взаимодействие между блоками, так выход одного блока может быть входом другого.



**Рис. 1 Функциональный блок IDEF0**



**Рис. 2 Функциональный блок разрабатываемого прототипа**

Для разрабатываемого средства были отобраны следующие фундаментальные алгоритмы: нахождение максимума, минимума, суммы, количества элементов, среднего арифметического, удаление элемента по значению; которые используются для базовых структур данных: массив, строка, список, текстовый и бинарный файл.

Для реализации данного средства использовался язык программирования C# в среде программирования Visual Studio. Пользовательским представлением является диаграмма с блоками, основанная на спецификации IDEF0. Внутренним представлением является

объектная метамодель. Средство предоставляет возможность генерации исходного кода в следующие языки: C и Pascal. В разработанном прототипе программного средства есть следующие возможности:

- указание целевого языка программирования для генерируемого кода;
- выбор структуры данных;
- добавление блока на диаграмму (выбор алгоритма соответствующей структуры);
- связывание блоков по именам входных и выходных параметров;
- удаление функционального блока;
- редактирование параметров функционального блока (изменение имен);
- генерация исходного кода в соответствии с диаграммой на выбранном языке.

Таким образом, данный прототип может служить как вспомогательное средство обучения на занятиях по основам программирования для демонстрации, сравнения и анализа структуры кода. В дальнейшем планируется реализовать возможность адаптации внутреннего представления к целевому языку генерируемого кода.

### Библиографический список

1. Гальперин П.Я. Общая теория деятельностного подхода к обучению. М.: МГУ, 1968.
2. Канжелев С.Ю., Шальто А.А. Автоматическая генерация программ с явным выделением состояний. // Журнал «Информационно-управляющие системы» №6. 2006. С. 60-63.
3. Flexberry Designer. [Электронный ресурс] URL: <http://wiki.flexberry.ru/FlexberryDesigner.ashx> (дата обращения: 5.03.2018).
4. QReal [Электронный ресурс] URL: <http://qreal.ru/> (дата обращения: 05.03.2018).
5. Сухов А.О. Разработка инструментальных средств создания визуальных предметно-ориентированных языков.: дис. канд. ф.-м. наук: 05.13.11: защищена 05.12.13: утв. 05.12.13. – М., 2013.
6. Руденко М.В., Апрощенко В.А., Багдасарян Р.Х., Бельченко В.Е., Бельченко И.В., Дьяченко Р.А., Пиотровский Д.Л. Исследование и разработка современной информационной системы оплаты коммунальных услуг на базе мобильных устройств связи.: коллективная монография. – Краснодар, 2017.
7. Григорьев В.П., Камышина Э.Н., Нестеров Ю.И., Никитин С.А. Применение методов искусственного интеллекта в САПР технологического проектирования производства электронной аппаратуры. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998.
8. Марка Дэвид А., МакГоуэн Клемент Методология структурного анализа и проектирования SADT. – М: Изд. «Мета технология», 2008.

### HIGH LEVEL MODELING IN THE PROGRAMMING TRAINING

*Khakimullina Anzhelika A., Datsun Natalia N.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, anzhelika.khakimullina@psu.ru

It is considered the problem of creating literate and structured program code by people who are taught the basics of programming. It is proposed the creation of software for training, which allows generating the source code for demonstrating, comparing and analyzing the structure of the program code according to the high-level specification. The following criteria are researched for the comparison of the existing source code generation tools: user interface, internal representation, generated languages, advantages and disadvantages. It is concluded that it is necessary to use the IDEF0 specification as a visual base of user interface, because this specification is apprehensible As a result, it is created a prototype of the analyzed software and the future prospects of this work are researched.

Keywords: IDEF0 specification, code generation, learning the basics of programming.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНФИГУРИРОВАНИЯ И ОТЛАДКИ OBDA-СИСТЕМ

*Черняев Антон Сергеевич, Постановов Игорь Сергеевич*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, AntonChernyaev@yandex.ru

Рассматриваются способы упрощения создания систем, доступ к данным которых основан на онтологиях (OBDA-системы). Описан разработанный высокоуровневый редактор правил отображения между элементами онтологии и элементами реляционной базы данных с возможностями навигации и фильтрации с учётом структуры онтологии. Для поддержки процесса отладки системы предложен и реализован прототип редактора SPARQL-запросов с модулем, упрощающим корректировку неполных запросов, возвращающих пустой результат, на основе анализа связей между понятиями в онтологии и связей, использованных в запросе. Предложенные решения могут использоваться при построении интеллектуальных информационных систем с естественно-языковым интерфейсом.

Ключевые слова: онтология, реляционная база данных, OBDA-система, редактор правил отображений, редактор SPARQL-запросов.

На сегодняшний день доступ к данным, основанный на онтологиях (Ontology Based Data Access, OBDA) [1], является актуальным направлением в области Семантической паутины (Semantic Web). OBDA-подход предполагает предоставление семантического доступа к традиционным источникам данных, что позволяет упростить их интеграцию в интеллектуальные системы. В случае использования реляционных баз данных (РБД) в качестве источника данных виртуализация графа онтологии сводит задачу ответа на SPARQL-запросы (запросы к онтологиям) к генерации, трансляции и последующему исполнению соответствующих SQL-запросов [2]. Трансляция, чаще всего, осуществляется соответствующими OBDA-фреймворками.

Одной из ресурсоемких задач при построении OBDA-системы является ее конфигурирование. Конфигурирование позволяет внести изменения в существующую систему, тем самым настроить ее на заданную предметную область.

Ранее в работе [3] были рассмотрены и реализованы подходы к решению задачи автоматического отображения элементов онтологии предметной области на элементы источника данных. Результатом такого связывания являются онтология и правила отображения, которые проецируют элементы онтологии на элементы схемы реляционной базы данных. Однако для полноценного функционирования OBDA-системы необходимо также иметь инструменты конфигурирования. Редактирование и обогащение сгенерированной онтологии, рассмотренное в работе [3], являются примером такого конфигурирования.

### **Описание предлагаемого подхода**

В работе [3] нами был предложен подход к редактированию и обогащению сгенерированной онтологии с помощью специального набора эвристик. Это позволило реализовать управляемый способ настройки онтологии на конкретную предметную область.

Помимо онтологии, важным элементом OBDA-системы являются правила отображения, которыми также необходимо управлять. Авторами работы [2] был реализован редактор



правил отображений, выполняющий основные функции, такие как просмотр, редактирование и т.п. Мы предлагаем дополнить редактор возможностью выполнять фильтрацию списка правил и навигацию по списку правил, используя структуру онтологии. Такое расширение облегчит работу с большим набором правил.

Как было сказано ранее, правила отображения выполняют роль отображения элементов онтологии на элементы РБД. Благодаря этим правилам, пользователь имеет возможность выполнять SPARQL-запросы, используя термины онтологии предметной области, и получать данные из РБД. При этом, чем точнее содержимое правил отражает соответствие между терминами онтологии и элементами РБД в рамках конкретной предметной области, тем качественнее будет результат запроса. Для тестирования правил мы предлагаем разработать инструментальный редактор SPARQL-запросов. В качестве основы был выбран редактор YASQE [4], обладающий возможностями автозаполнения и выделения фрагментов запроса. Функции разрабатываемого редактора:

1. Создание и выполнение SPARQL-запроса, получение результата из РБД с помощью правил отображения.
2. Просмотр SQL-запроса, в который будет трансформирован SPARQL-запрос.
3. Интеллектуальные подсказки, которые могут помочь пользователю составить правильный запрос в рамках онтологии.

Механизм интеллектуальных подсказок: запрос содержит отношение между двумя классами, прямая связь между которыми отсутствует, однако имеется возможность построить связь через смежные понятия. В таком случае появляется возможность подсказать пользователю путь между используемыми понятиями. Также пользователю предлагается дополнить SPARQL-запрос необходимыми триплетами отношений и промежуточных классов для корректного выполнения запроса, если это необходимо.

Такой механизм позволит пользователю быстрее ориентироваться в структуре онтологии в ходе построения запроса.

#### Описание разработанной системы

В работе [2] описывается OBDA-фреймворк *Ontop*, который позволяет трансформировать SPARQL-запросы в соответствующие SQL-запросы. В системе OBDAnt, действующая версия которой разработана нами, данный фреймворк используется для исполнения SPARQL-запросов на основе онтологии, РБД и правил отображения.

Для тестирования системы, реализующей подход интеллектуальных подсказок, был выбран фрагмент онтологии, сгенерированный на основе базы данных "Moodle". Полученная онтология представлена на рисунке Рис. 1, построенном с помощью графического редактора онтологий ОНТОЛИС [5].

Для построения пути между несвязанными напрямую классами онтологии был использован сервис поиска путей в коллекции онтологических ресурсов [6].

Рассмотрим пример SPARQL-запроса, в котором отсутствует прямая связь между классами *user* и *course*, однако имеется возможность построить путь через смежные классы.

```
PREFIX : <http://knova.ru/sqlservermoodle#>
SELECT ?Course_name ?User_email
WHERE {
  ?x a :user; :users_email ?User_email.
  ?y a :course; :course_fullname ?Course_name.
  ?x ?p ?y.
}
ORDER BY (?User_email)
```

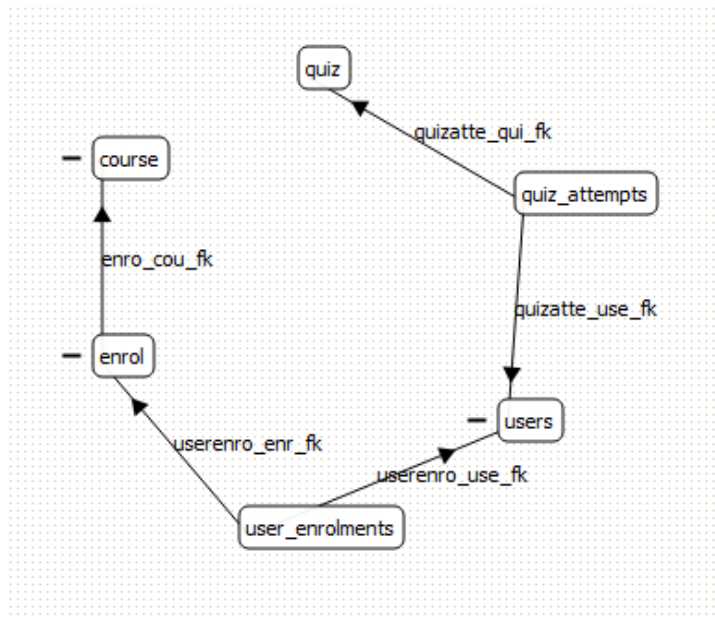


Рис. 1 Фрагмент онтологии "Moodle"

При попытке выполнить запрос в таком виде результат будет пустым из-за отсутствующего отношения. Однако имеется возможность построить путь через смежные классы user\_enrolments и enrol. После построения пути появляется возможность дополнить запрос необходимыми триплетами и получить корректный результат (в соответствии с Рис.2).

OBDAnt
- □ ×

Extra Ontology Save DataBase Connection Reasoner

Ontology Mapping Editor SPARQL Query Editor

```

1 PREFIX : <http://knova.ru/sqlservermoodle#>
2 SELECT ?Course_name ?User_email
3 WHERE {
4   ?x a <http://knova.ru/sqlservermoodle#Пользователи> .
5   ?y a <http://knova.ru/sqlservermoodle#course> .
6   ?y <http://knova.ru/sqlservermoodle#course___fullname> ?Course_name .
7   ?x <http://knova.ru/sqlservermoodle#users___email> ?User_email .
8   ?pathVar0 a <http://knova.ru/sqlservermoodle#user_enrolments> .
9   ?pathVar0 <http://knova.ru/sqlservermoodle#userenro_use_fk> ?x.
10  ?pathVar1 a <http://knova.ru/sqlservermoodle#enrol> .
11  ?pathVar0 <http://knova.ru/sqlservermoodle#userenro_enr_fk> ?pathVar1.
12  ?pathVar1 <http://knova.ru/sqlservermoodle#enro_cou_fk> ?y.
13 }
14 ORDER BY (?User_email)
15

```

Execute Query View SQL

User_email	Course_name
antonchernaev@yandex.ru	ТРПП
antonchernaev@yandex.ru	Web-программирование
antonchernaev@yandex.ru	Мат анализ
itrofimov@yandex.ru	Web-программирование
l4utos@yandex.ru	ТРПП
l4utos@yandex.ru	Мат анализ

Рис. 2 Модификация запроса

Возможность автоматической модификации запроса упрощает работу пользователей, которые лишь поверхностно знакомы со структурой онтологии.

### **Перспективы**

Перспективами дальнейшей работы видятся расширение SPARQL-редактора в направлении автоматизации построения запроса, а также возможность обогащения онтологии с помощью редактора SPARQL-запросов, в котором пользователь использует термины, отсутствующие в предметной онтологии, и устанавливает корректную связь с существующими терминами, тем самым производя обогащение онтологии.

### **Библиографический список**

1. *Когаловский М.Р.* Системы доступа к данным, основанные на онтологиях // Программирование, № 4, 2012. С. 55-77.
2. *Calvanese D., Cogrel B., Komla-Ebri S., Kontchakov R., Lanti D., Rezk M., Rodriguez-Muro M., Xiao G.* Ontop: Answering SPARQL Queries over Relational Databases // Semantic Web Journal, Vol. III, No. 8, 2017. pp. 471-487.
3. *Черняев А.С., Постаногов И.С.* Автоматизация построения отображения предметных онтологий на элементы схемы реляционной базы данных // Математика и междисциплинарные исследования Часть 2, 2017. С. 248-254.
4. YASQE Yet Another Sparql Query Editor [Электронный ресурс] // YASQE: [сайт]. URL: <http://yasqe.yasgui.org/> (дата обращения: 23 Марта 2018).
5. *Чуприна С.И., Зиненко Д.В.* ОНТОЛИС: адаптируемый визуальный редактор онтологий // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика, № 3(22), 2013. С. 106–110.
6. Сервис поиска путей в коллекции онтологических ресурсов [Электронный ресурс] // Navion (Трофимов И. В., Постаногов И.С.) [сайт]. URL: <http://movs.psu.ru/navion> (дата обращения: 23 Марта 2018).

## **AUTOMATION OF CONFIGURATION AND DEBUGGING OF OBDA-SYSTEMS**

*Chernyaev Anton S., Postanogov Igor S.*

Perm State University, Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990, AntonChernyaev@yandex.ru

We consider ways to simplify building of systems that provide an ontology-based data access (OBDA-systems). The developed high-level mapping rules editor was described with features of navigation and filtering capabilities, taking into account a structure of an ontology. To support a process of debugging a system, a prototype of the SPARQL-query editor was proposed and developed with a module that simplifies correction of incomplete queries, which return empty set, based on the analysis of connections between concepts in the ontology and the connections included in the query. The results can be used for simplifying construction of intelligent information systems with a natural language interface.

Keywords: ontology, relation database, OBDA-system, mapping rules editor, SPARQL-query editor.

## **2. ВЗАИМОСВЯЗЬ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФИБРОЗНОГО КОЛЬЦА НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НДС МЕЖПОЗВОНОЧНОГО ДИСКА

*Хорошев Денис Владимирович, Ильялов Олег Рустамович*

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, horosh-den@mail.ru

Продолжается разработка конечно-элементной модели межпозвоночного диска L4-L5 в поясничном отделе позвоночника. В качестве первого приближения рассматривается двухмерная модель в сагиттальной плоскости. Отростки позвонков не учитываются. Позвонки L5 зафиксированы и его перемещения равны нулю. Действия сил со стороны связок и мышц не учитываются. На верхнюю часть позвонка L4 действует распределенная нагрузка  $P_2=227$  кН/м, что соответствует нагрузке в 500 кг. Задача решается как пороупругая по теории Био. Рассмотрены две модели, которые отличаются проницаемостью в фиброзном кольце. В первой проницаемость постоянна, а во второй изменяется по убывающей линейной функции от центра ядра до внешней мембраны фиброзного кольца. Представлено сравнение результатов расчета напряженно-деформированного состояния между моделями с использованием программного пакета Ansys. Цель данной статьи изучить зависимость результатов от проницаемости фиброзного кольца.

Ключевые слова: межпозвоночный диск, пороупругая модель, поясничный отдел, фиброзное кольцо.

Позвоночник – это своего рода главный стержень тела, обеспечивающий ему статическую устойчивость и динамическую активность. Однако каждый человек в мире хотя бы раз в жизни испытывал боль в спине. Она не зависит от пола или возраста человека, возникает лишь раз или возвращается снова и снова. Согласно исследовательским данным, более половины жителей мира периодически испытывают боли в спине и около 80 % из них приходится на поясничный отдел позвоночника [1]. Как показывает врачебная практика, почти в половине случаев боль в поясничном отделе позвоночника связана с грыжей межпозвоночного диска L4–L5.

За основу взята модель из статьи [2], где смоделирован позвонково-двигательный сегмент L4-L5 в сагиттальной плоскости. Расчетная схема из работы [2] изменяется. Рассматривается напряженно деформированное состояние межпозвоночного диска L4-L5. Задача решается как пороупругая по теории Био [3]. Позвонки L5 жестко закреплены, а к позвонку L4 приложена распределенная нагрузка  $P_2=227$  кН/м, что соответствует нагрузке в 500 кг. Внутридискное давление не задано. В вышеупомянутом источнике [2] фиброзное кольцо разбито на мембраны и эластические волокна. В текущей работе представлено влияние изменения проницаемости в фиброзном кольце межпозвоночного диска L4-L5 поясничного отдела позвоночника на результаты расчета НДС межпозвоночного диска. Цель данной статьи изучить зависимость результатов от проницаемости фиброзного кольца.

В исследовании сравниваются результаты расчета НДС по моделям №1 и №2. Модель №1 соответствует работе [2], а модель №2 отличается изменчивостью свойств фиброзного кольца. Характеристика проницаемости эластических мембран и волокон в модели №2

изменяется по убывающей линейной функции так, что наибольшая величина проницаемости находится ближе к ядру диска.

$$x = 1.94 - 0.02 * n, n \in [1, 23] \quad (1)$$

$$y = 1.90 - 0.02 * n, n \in [1, 23] \quad (2)$$

$$x = 2.09 - 0.02 * n, n \in [1, 22] \quad (3)$$

$$y = 1.78 - 0.02 * n, n \in [1, 22] \quad (4)$$

Формулы (1) и (2) характеризуют изменение проницаемости мембран, где  $x$  - проницаемость по оси  $x$ , а  $y$  - соответственно по оси  $y$ . Поскольку мембран всего 23, то  $n$  - количество мембран, где первая мембрана находится ближе к ядру диска, а 23-я дальше всех. Формулы (3) и (4) отображают изменение проницаемости эластических волокон, где  $x$ ,  $y$  и  $n$  выполняют аналогичные функции. В данном случае волокон на единицу меньше, чем мембран, вследствие чего  $n$  изменяется до 22. Численная реализация модели проведена с использованием программного пакета Ansys. Получены распределения перемещений, напряжений и деформаций.

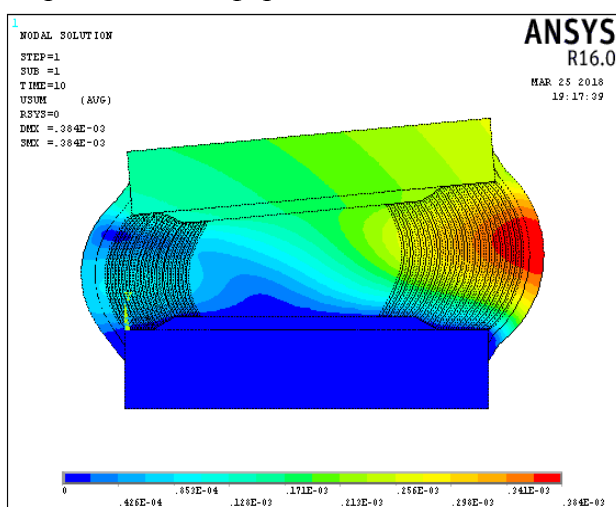


Рис. 1. Перемещения модели №1 в м

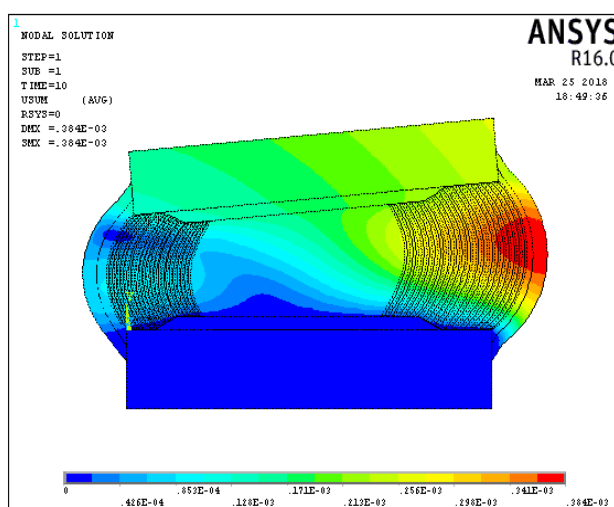


Рис. 2. Перемещения модели №2 в м

Рис.1 и 2 показывают, что максимальные значения перемещений одинаковы и поля перемещений идентичны друг другу. Так же отметим, что наибольшие перемещения наблюдаются в передней части фиброзного кольца. Это связано с углом наклона позвонка L4 к L5, поскольку распределенная нагрузка приложена к позвонку L4 перпендикулярно.

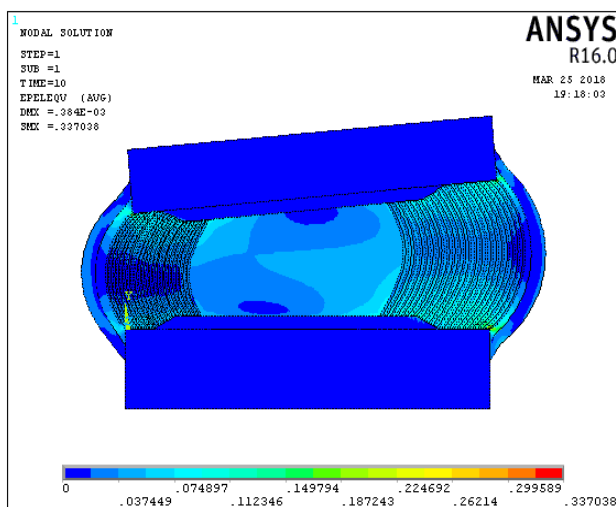


Рис. 3. Интенсивность упругих деформаций модели №1

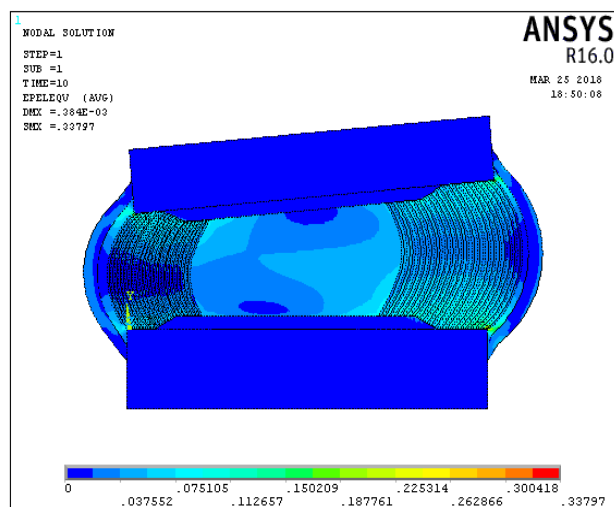
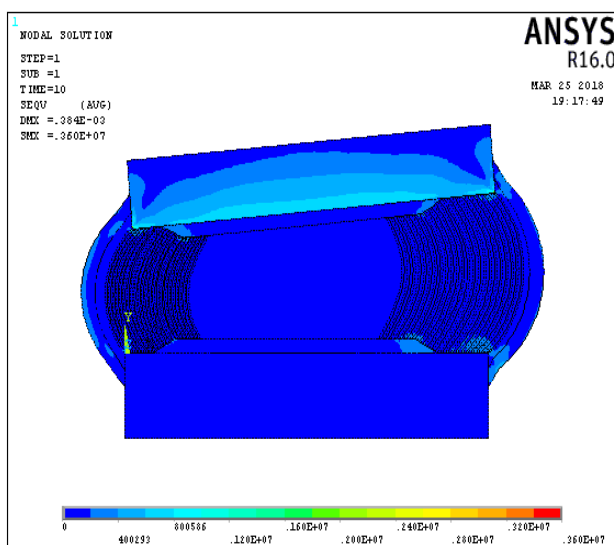
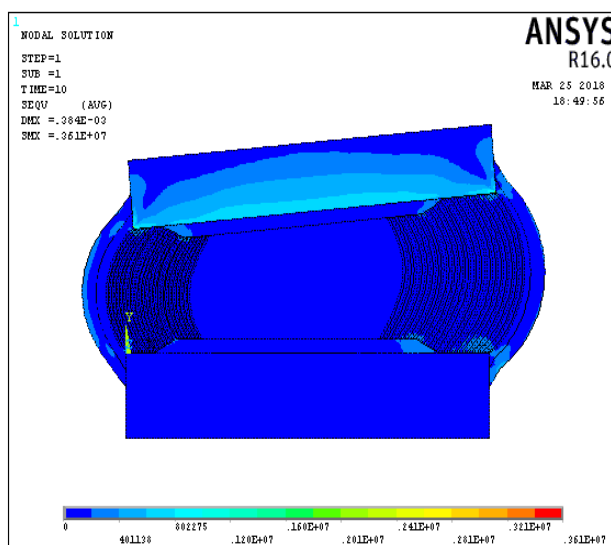


Рис. 4. Интенсивность упругих деформаций модели №2

На рис. 3 и 4 представлены поля интенсивности упругих деформаций моделей №1 и №2. Анализ изображений показывает, что максимальные значения интенсивности упругих деформаций различаются на 0,3%, а в целом, поля аналогичны.



**Рис. 5. Интенсивность упругих напряжений модели №1 в Па**



**Рис. 6. Интенсивность упругих напряжений модели №2 в Па**

Анализ результатов на рис. 5 и 6 показывает различие максимальных значений интенсивности упругих напряжений на 0.3%, а поля интенсивности упругих напряжений так же не имеют видимых различий. Заметим, что наибольшие значения упругих напряжений располагаются на краях позвонка L4, что связано с его геометрией. В реальности края позвонков не прямые, а кругловатые.

Из всего вышесказанного следует, что изменение проницаемости фиброзного кольца не влияет на полученные результаты. Это связано либо с малым изменением проницаемости по кольцу либо с малым влиянием величины проницаемости.

### Библиографический список

1. *Алексеев А.* Боль в спине: факты и статистика [Электронный ресурс] URL: <https://www.medhouse.ru/entries/273/> (дата обращения: 04.02.2018).
2. *Хорошев Д.В., Ильялов О.Р.* Построение пороупругой конечно-элементной модели межпозвоночного диска в поясничном отделе // Журнал магистров. 2016. Т. 1. С. 498–507.
3. *Тверье В.М., Миленин А.С.* Биомеханика моделирования диска височно-нижнечелюстного сустава как пороупругого тела// Российский журнал биомеханики. 2014. Т. 18. С. 294-310.

## **RESEARCH OF THE ANNULUS PERMEABILITY INFLUENCE ON THE RESULTS OF THE INTERVERTEBRAL DISC CALCULATION**

*Khoroshev Denis V., Ilyalov Oleg R.*

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614990,  
horosh-den@mail.ru

The development of a finite element model of the intervertebral disc L4-L5 in the lumbar spine is continuing. As the first approximation, a two-dimensional model in the sagittal plane is considered. The vertebral processes are not counted. Vertebra L5 is fixed and its displacement is zero. The action of forces from the ligaments and muscles is not taken into account. Distributed load  $P_2=166,5$  kN/m acts on the upper part of vertebra L4. The problem is solved as poroelastic. Two models that differ in permeability in the annulus fibrous are considered. In the first it is constant, and in the second it changes in decreasing linear function from center of the nucleus to the outer membrane of the annulus fibrous. The stress-strain state calculation analysis is carried out using Ansys. The purpose of this article is to study the dependence of the results on the permeability of the annulus fibrous.

Keywords: intervertebral disc, poroelastic model, lumbar region, annulus fibrous.



## ЭВОЛЮЦИЯ ЗАРЯДА В НЕПОДВИЖНОЙ СЛАБОПРОВОЖАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ, ЗАПОЛНЯЮЩЕЙ ПЛОСКИЙ КОНДЕНСАТОР, ПРИ АВТОНОМНОЙ УНИПОЛЯРНОЙ ИНЖЕКЦИИ

*Целищев Вячеслав Юрьевич, Смородин Борис Леонидович*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, ya.tselishev.slava@yandex.ru

Проведено численное моделирование распространения зарядов в слабопроводящей жидкости, находящейся в электрическом поле плоского горизонтального конденсатора. Используется одномерная математическая модель, в которой изменения всех физических величин происходит вдоль координатной оси, перпендикулярной поверхностям электродов. Подразумевается, что заряды в жидкости образуются путем униполярной автономной инжекции на катоде и распространяются вследствие подвижности элементарных зарядов в электрическом поле и диффузионного тока. Использовано допущение об отсутствии конвективного и термоэлектрического переноса. Решение системы дифференциальных уравнений осуществлено с применением метода конечных разностей. Рассмотрены динамика и последующая стационарная картина распределения зарядов. Изучено влияние интенсивности инжекции на полный заряд в жидкости. Проведена оценка воздействия диффузии на скорость установления равновесного состояния внутри конденсатора.

Ключевые слова: Слабопроводящая жидкость, диффузия заряда, униполярная инжекция, численное моделирование.

### **Введение**

К классу слабопроводящих жидкостей можно относиться углеводородные масла, жидкие диэлектрики, топлива и т.д.

Постоянная автономная инжекция реализуется в случаях, когда диэлектрическая проницаемость жидкости велика настолько, что ионы из электрода самостоятельно абсорбируются внутрь ее объема [1].

В данной статье проведено исследование распределений зарядов внутри покоящейся равномерно нагретой слабопроводящей жидкости под действием постоянного электрического поля при автономной инжекции с катода.

### **Постановка задачи**

Рассмотрим задачу о плоском горизонтальном покоящемся слое вязкой несжимаемой слабопроводящей жидкости высотой  $L$ , находящейся внутри плоского конденсатора, который образует постоянное вертикальное электрическое поле  $E$ . Ось  $z$  направлена перпендикулярно границам слоя. На катоде обеспечена автономная (постоянная) инжекция заряженных частиц в жидкость. Математически данная модель описывается следующей системой:

$$\begin{cases} \frac{\partial q}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{j} = 0, \\ E = -\nabla \Phi, \\ q = \nabla E, \end{cases} \quad (1)$$

где  $q$  – плотность заряда,  $E$  – напряженность электрического поля,  $\Phi$  – потенциал электрического поля,  $\mathbf{j} = qK\mathbf{E} - D\nabla q$  – электрический ток, обусловленный наличием разности потенциалов и диффузии.  $K$  – коэффициент подвижности зарядов,  $D$  – коэффициент диффузии [2-3].

Граничные условия формулируются, как и в [2], следующим образом:

$$\begin{aligned} z = 0: q = C, \Phi = \Phi_0 \\ z = L: \frac{\partial q}{\partial z} = 0, \Phi = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

После проведения процедуры обезразмеривания (1) и (2) примут вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial q}{\partial t} + \nabla(Eq) - \alpha \Delta q = 0, \\ \Delta \Phi = -q, \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} z = 0: q = C, \Phi = 1 \\ z = 1: \frac{\partial q}{\partial z} = 0, \Phi = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

где  $\alpha = D/K\Phi_0$ .

Для описания результатов также воспользуемся такой величиной как полный заряд в конденсаторе  $Q$ .

### Метод решения

Для решения системы (3) воспользуемся разностной схемой и введем сетку в области изменения независимых переменных для получения множества точек, участвующих в аппроксимации дифференциального уравнения, как это предложено в [4]. В результате получим рекуррентные формулы:

$$q_i^{k+1} = q_i^k + \tau \times \left( \alpha \times (q_{i+1}^k - 2q_i^k + q_{i-1}^k) / h^2 - E_i^k \times (q_{i+1}^k - q_{i-1}^k) / 2h - (q_i^k)^2 \right), \quad (5)$$

$$q_i^k = (\Phi_{i+1}^k - 2\Phi_i^k + \Phi_{i-1}^k) / h^2, \quad (6)$$

где  $i$  – индекс, отвечающий за изменение по вертикальной координате,  $k$  – индекс, отвечающий за изменение по времени,  $h$  – шаг по координате,  $\tau$  – шаг по времени.

Уравнение (6) решалось методом прогонки, для уравнения (5) было использовано условие устойчивости  $\tau \leq h^2 / 4$ .

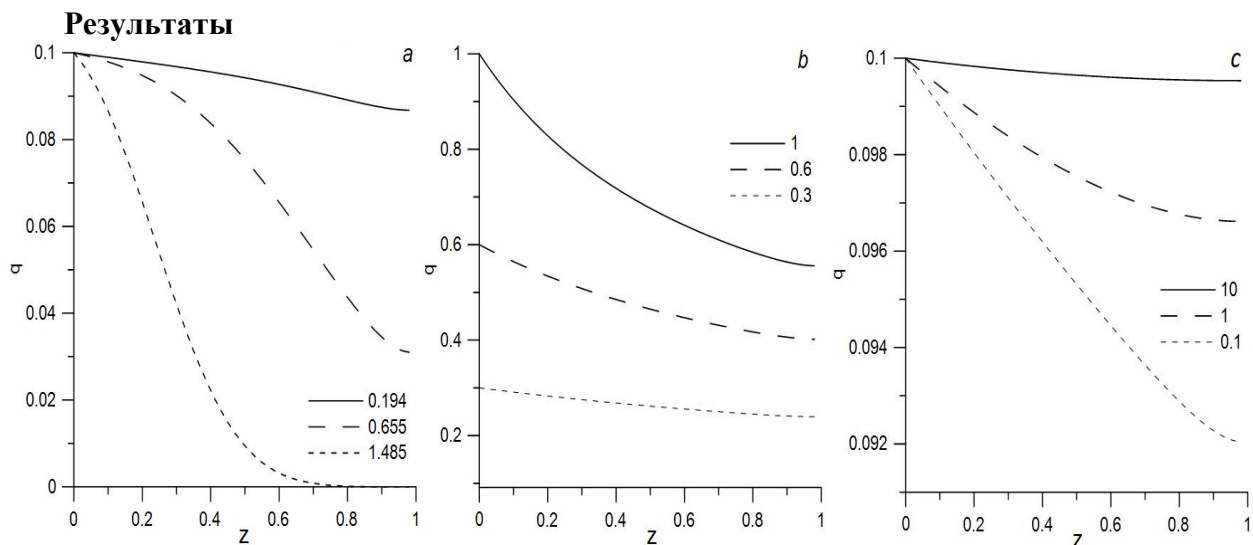


Рис. 1 Распределение плотности заряда а) в различные моменты времени при  $C=0.1$ ,  $\alpha=0.1$ , б) в равновесии при  $\alpha=0.1$  и различных  $C$ , в) в равновесии при  $C=0.1$  и различных  $\alpha$

Процесс заполнения конденсатора с слабопроводящей жидкостью продемонстрирован на рис. 1, а. С течением времени заряды под действием внешнего поля начинают движение к противоположному электроду и плотность заряда в конденсаторе начинает возрастать, достигая в определенный момент времени стационарного состояния.

Заряд благодаря полю перемещается к верхнему электроду, вследствие чего происходит его накапливание, и следом идущие частицы начинают под действием силы Кулона замедляться и отталкиваться. При большем  $C$  в конденсаторе скапливается больше заряда, и отталкивающее поле, вызванное ими, сильнее (рис. 1, b). На рис. 1, с видно, что чем больше  $\alpha$ , обратно пропорциональная разности потенциалов, тем больше зарядов диффундирует во время движения и тем равномернее они будут рассредоточены в среде.

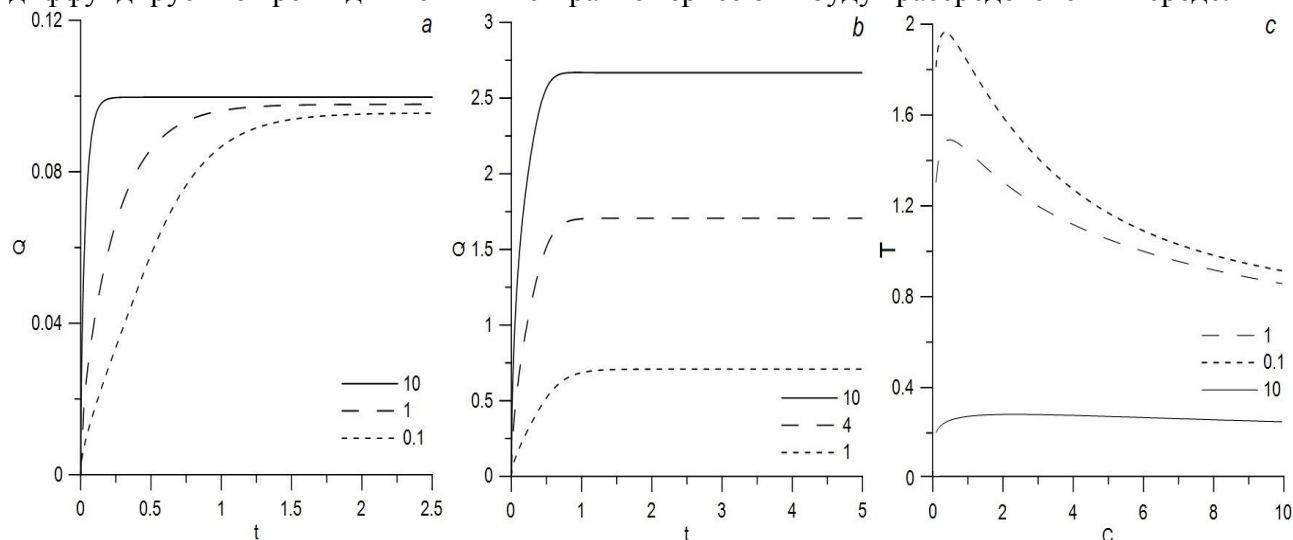


Рис. 2 а) Динамика полного заряда при  $C=0.1$ , и различных  $\alpha$ , б) Динамика полного заряда при  $\alpha=0.1$ , и различных  $C$ , с) Зависимость времени установления стационарного состояния  $T$  от  $C$  при различных  $\alpha$

Повышение интенсивности инъекции, приводит к уменьшению времени, которое нужно для достижения системой стационарного состояния (рис. 2, а, с). Величина полного заряда в системе, как и следовало ожидать, прямо пропорциональна, а скорость установления равновесия обратно пропорциональна инжектируемому заряду (рис.2, б, с).

### Заключение

В настоящей работе исследовано распространение заряда, инжектируемого с катода, внутри плоского конденсатора, заполненного слабопроводящей жидкостью под действием внешнего электрического поля при наличии диффузии. Получены распределения заряда от координаты в конденсаторе, значение полного заряда для различных коэффициентов диффузии и интенсивности инъекции на катоде.

### Библиографический список

1. Жакин А.И. Приэлектродные и переходные процессы в жидких диэлектриках // Успехи физических наук. 2006. Т. 176. № 3. С 289-301.
2. Perez A.T., Castellanos A. Role of charge diffusion in finite-amplitude electroconvection // Physical Review A. 1989. Vol. 40. P. 5844–5855.
3. Тараут А.В., Смородин Б.Л. Электроконвекция при наличии автономной униполярной инъекции// Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2012. Т. 142. № 2. С. 403–412.
4. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы М.: Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 432 с.

# **EVOLUTION OF CHARGE IN THE FIXED LOW CONDUCTING LIQUID FILLING FLAT CAPACITOR WITH AUTONOMOUS UNIPOLAR INJECTION**

*Tselishev Vyacheslav Y., Smorodin Boris L.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, ya.tselishev.slava@yandex.ru

Numerical simulation of charge propagation in a low conducting liquid in the electric field of a flat horizontal capacitor is carried out. A one-dimensional mathematical model is used in which changes in physical quantities occur along the coordinate axis perpendicular to the surfaces of the electrodes. It is understood that the charges in the liquid are formed by unipolar autonomous injection on the cathode and propagate through the mobility of elementary charges in the electric field and the diffusion current. The assumption of the absence of convective and thermoelectric transfer is used. The solution of the system of differential equations is carried out using the finite difference method. Dynamics and the subsequent stationary picture of charge distribution are considered. The effect of diffusion on the rate of establishment of the equilibrium state inside the capacitor is estimated.

Keywords: low conducting liquid; unipolar injection; charge diffusion, numerical simulation.

## **ВЛИЯНИЕ ДИСФУНКЦИИ ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОГО СУСТАВА НА ПОТЕРЮ УСТОЙЧИВОСТИ ВНУТРЕННЕЙ СОННОЙ АРТЕРИИ**

*Шитоев Иван Дмитриевич, Никитин Владислав Николаевич, Тверье Виктор Моисеевич,  
Няшин Юрий Иванович*

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614000, Россия,  
г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, shitoev26@gmail.com

В литературе приводятся много примеров и предположений о возможном влиянии дисфункции височно-нижнечелюстного сустава (и вообще стоматологических заболеваний) на состояние очень важной сосудистой магистрали – внутренней сонной артерии, образование в ней изгибов и петлистостей, что может привести к развитию инсульта и ишемической болезни головного мозга. Эти заболевания в настоящее время являются одними из самых частых причин глубокой инвалидизации и преждевременной смерти людей. К сожалению, в настоящее время нет строгого объяснения механизма влияния зубочелюстной системы человека на повреждение жизненно важной сосудистой магистрали, соединяющей и объединяющей работу мозга и сердца. Все расхождения и противоречия могут быть устранены после разработки биомеханической модели влияния дисфункции височно-нижнечелюстного сустава на внутреннюю сонную артерию.

Ключевые слова: височно-нижнечелюстной сустав, внутренняя сонная артерия, патологическая извитость, иннервация.

Согласно статистике, в большинстве развитых стран основной причиной смертности взрослого населения являются болезни, связанные с системой кровообращения [1]. Сердечно-сосудистые заболевания и гемодинамические отклонения являются серьезной социально-экономической проблемой [2]. Дисфункция височно-нижнечелюстного сустава и жевательных мышц может вызвать компрессию отделов внутренней сонной артерии, что может стать причиной развития хронической ишемии мозга. Многие исследователи отмечают, что патология височно-нижнечелюстного сустава наблюдается у 14 – 20% детей и подростков и у 50 – 80% взрослого населения [3]. Височно-нижнечелюстной сустав – один из наиболее сложных как в анатомическом, так и в функциональном отношении. В течении всей жизни человека происходит постоянная перестройка и изменение структурных элементов височно-нижнечелюстного сустава. Это связано с ростом челюстей, формированием прикуса, сменой прикуса, развитием жевательной мускулатуры и т.д. [4]. Изменения прикуса влияют на кровоснабжение головного мозга и могут приводить к патологиям мозгового кровообращения, в частности к инсульту. Происходят изменения в состоянии и функционировании элементов зубочелюстной системы, которые часто сопровождаются головными болями, головокружениями, нервозностью, являющимися также признаками нарушений кровоснабжения головного мозга [5]. Тогда как зачастую патология височно-нижнечелюстного сустава проходит бессимптомно, еще больше увеличивая риск сердечных заболеваний, при этом больные могут даже не подозревать об этом.

Под извитостью внутренней сонной артерии подразумевается ее деформация, аномальные переплетение или изогнутость. О причинах появления патологической

извитости говорится в работах [6-10]. Патологическая извитость сонных артерий вызывает недостаточность мозгового кровообращения. В настоящее время есть несколько проработанных математических моделей течения крови в системе кровеносных сосудов [7, 11-14]. В работах А.В. Доля и соав. [11-13] присутствует учет работы вторичного (периферического) сердца, модель которого была предложена еще в начале XX века российским ученым академиком М.В. Яновским (то есть предположение о том, что помимо сердца кровь ускоряется еще и посредством ритмического сокращения сосудистых стенок [15]). Но на данный момент нет четкого математического описания влияния факторов на потерю устойчивости внутренней сонной артерии. Кроме этого, в современной науке отсутствует учет влияния иннервации при биомеханическом моделировании движения крови в сосудах. Для учета вышеуказанных особенностей строения и функционирования внутренней сонной артерии, а также тесное взаимодействие с другими системами и процессами в организме человека, предполагается провести биомеханическое моделирование более общей (полной) задачи течения крови в ней. По мнению авторов, необходимо учесть влияние морфологии как самой артерии (определенное расположение гладких мышечных волокон внутри стенки артерии, влияющее на напряженно-деформированное состояние, и её иннервация), так и окружающих эту артерию тканей с учетом их функционирования.

### Библиографический список

1. Харченко В.И., Какорина Е.П., Корякин М.В., Вирин М.М., Ундрицов В.М., Смирнова Н.Л., Онищенко П.И., Потиевский Б.Г., Михайлова Р.Ю. Смертность от болезней системы кровообращения в России и экономически развитых странах // Российский кардиологический журнал. 2005. №2.
2. Шилько С.В., Кузьминский Ю.Г., Саливончик С.П. Расчет характеристик пульсовой волны с учетом деформаций кровеносных сосудов // Российский журнал биомеханики. 2001. Т. 5, №1. С. 88–94.
3. Гелетин П.Н. Дисфункция височно-нижнечелюстного сустава: этиология, патогенез и оптимизация терапии: клинично-экспериментальное исследование: автореферат дис. ... доктора медицинских наук: спец. 14.01.14. Саратов. гос. мед. ун-т им. В.И. Разумовского. Саратов, 2016. 38 с.
4. Измайлова Л.В., Гайнутдинова А.А., Нестеренко В.В. Сосудистое русло височно-нижнечелюстного сустава [Электронный ресурс] // Студенческий научный форум: VI Международная студенческая электронная научная конференция, 15 февраля – 31 марта 2014 г. Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2014/461/210>.
5. Никитин В.Н. Биомеханическое моделирование коррекции прикуса зубочелюстной системы человека: дис. ...канд. ф.-м. наук: спец. 01.02.08. Саратов. нац. исслед. гос. Ун-т им. Н. Г. Чернышевского, Саратов, 2017. 158 с.
6. Каплан М.Л., Бонцевич Д.Н., Шилько С.В. Роль локальных нарушений гемодинамики при патологической извитости сонных артерий в развитии сосудистой мозговой недостаточности. Российский журнал биомеханики. 2015. Т. 19. № 1. С. 8–24.
7. Павлова О.Е., Иванов Д.В., Грамакова А.А., Морозов К.М., Суслов И.И. Гемодинамика и механическое поведение бифуркации сонной артерии с патологической извитостью. Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. 2010. Т. 10. Сер. Математика. Механика. Информатика, вып. 2.
8. Зербино Д.Д., Кузык Ю.И. Деформации внутренних сонных артерий: проблемы этиологии, патогенеза и морфогенеза. Серце і судини. 2014. № 1. С. 97—105.
9. Лобов М.А., Казанчян П.О., Иллариошкин С.Н., Чечеткин А.О., Валиков Е.А., Сидорова О.П., Тараканова Т.Ю., Лотарева М.А., Борисова М.Н. Врожденная патологическая извитость внутренней сонной артерии: популяционный скрининг и

- генетические аспекты. *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2007. Т. 1. № 4.
10. Павлова О.Е. Биомеханическое исследование патологической извитости внутренней сонной артерии: автореферат дис. ...канд. ф.-м. наук: спец. 01.02.08. Саратов. нац. исслед. гос. Ун-т им. Н. Г. Чернышевского, Саратов, 2013. 24 с.
  11. Доль А.В. Биомеханическое моделирование кровеносных сосудов с учетом мышечной активности стенок: автореферат дис. ...канд. ф.-м. наук: спец. 01.02.08. Саратов. нац. исслед. гос. Ун-т им. Н. Г. Чернышевского, Саратов, 2013. 24 с.
  12. Доль А.В., Гуляев Ю.П. Математические модели гемодинамики кровотока с учетом работы распределенного сердца. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*. / Под. Ред. Р.Г. Стронгина. Н. Новгород: Изд-во Нижегород. Ун-та, 2011. С. 423-425.
  13. Доль А.В., Гуляев Ю.П. Интегрирование основной системы уравнений динамики кровотока методом разделения переменных. *Математика. Механика: Сб. Науч. Трудов*. Саратов: Изд-во Саратов. Ун-та, 2011. С. 140-143.
  14. Долгов Д.А., Захаров Ю.Н. Моделирование движения вязкой неоднородной жидкости в крупных кровеносных сосудах. *Вестник Кемеровского государственного университета. Сер. Математика*. 2015. Т. 1. № 2 (62).
  15. Обрезан А.Г., Шункевич Т.Н. Теория «периферического сердца» профессора М.В. Яновского: классические и современные представления. *Вестник Санкт-Петербургского Университета. Сер. 11*. 2008. № 3.

## **INFLUENCE OF THE TEMPOROMANDIBULAR JOINT DYSFUNCTION ON THE LOSS IN STABILITY OF THE INTERNAL CAROTID ARTERY**

*Shitoev Ivan D., Nikitin Vladislav N., Tverier Victor M., Nyashin Yuriy I.*

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614000,  
shitoev26@gmail.com

**Abstract.** In the literature, there are many examples and assumptions about the possible effect of dysfunction of the temporomandibular joint and general dental diseases on the state of a very important vascular artery, namely the internal carotid artery, the kinking and coiling in it, which can lead to the development of a stroke and ischemic disease of a brain. Nowadays, these diseases are one of the most frequent causes of severe disability and premature death of people. Unfortunately, at present there is no comprehensive explanation of influence mechanism of a person's dentition on the damage of the vital vascular line that connects and unites the work of a brain and a heart. All discrepancies and contradictions can be eliminated after developing the biomechanical model of the influence of temporomandibular joint dysfunction on the internal carotid artery.

**Keywords:** temporomandibular joint, internal carotid artery, pathological tortuosity, innervation.

### **3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ТЕОРИЯ, МОДЕЛИ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ**



## **НЕМАНИПУЛИРУЕМОСТЬ МЕХАНИЗМА КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ МАТРИЦЫ СВЕРТКИ С ПОМОЩЬЮ МАТРИЧНОГО АНОНИМНОГО ОБОБЩЕННОГО МЕДИАННОГО МЕХАНИЗМА**

*Алексеев Александр Олегович*

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614000, Россия,  
г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, alekseev@cems.pstu.ru

Обсуждается синтез механизмов комплексного оценивания и активной экспертизы, применение которых востребовано во многих предметных областях при групповой экспертизе сложных объектов, описываемых вектором свойств. Показано выполнение свойства неманипулируемости аддитивно-мультипликативного механизма комплексного оценивания, то есть устойчивость данного механизма управления к стратегическому поведению активных агентов, обладающих способностью исказить информацию о своих возможностях и предпочтениях для достижения собственных целей.

Ключевые слова: механизм управления, комплексное оценивание, матрицы свёртки, активная экспертиза, медианный механизм, неманипулируемость.

Групповая экспертиза сложных объектов, описываемых вектором свойств, является актуальной задачей во многих предметных областях, что делает востребованным применение механизмов комплексного оценивания и активной экспертизы. Механизмы комплексного оценивания были разработаны [9, 10] для агрегирования информации об объекте управления и описания его состояния с помощью всего одного параметра – интегральной или комплексной оценки. К преимуществу матричных механизмов комплексного оценивания, исследуемых в данной работе, относится отсутствие свойства компенсируемости. Расширить область применения матричных механизмов комплексного оценивания удалось благодаря применению нечетких процедур комплексного оценивания [2, 6, 12] и эквивалентных их функций интерполяции [1, 7]. Механизмы активной экспертизы разрабатывались с целью минимизации стремления активных агентов исказить информацию о состоянии оцениваемого объекта. Известно [8], что неманипулируемыми механизмами активной экспертизы являются медианные схемы голосования. Каждый из описанных механизмов управления имеет явные преимущества для применения их в задачах групповой экспертизы сложных объектов, однако исследование сохранения их свойств при синтезе этих механизмов еще исследован лишь частично.

Так, например, матричный анонимный обобщенный медианный механизм (МАОММ), был введен в работе [5], где было показано, что матрица свёртки, элементы которой определены с помощью процедуры активной экспертизы, непротиворечива, то есть не убывает. Там же [5] показана возможность использования матриц свёртки, элементы которых определены в непрерывном виде. Это обстоятельство не накладывает никаких дополнительных условий на процедуру активной экспертизы, помимо традиционно используемых: монотонность, непрерывность, единогласие. В работе [4] были предложены подходы по делегированию сообщений экспертов, что востребовано при привлечении

узкопрофильных специалистов, способных оценить лишь часть свойств сложного многопараметрического объекта. Для наглядной демонстрации описанных выше свойств и экспериментального исследования стратегического поведения агентов был создан программный модуль [11] и разработана специальная деловая игра [3].

Однако неисследованным оставался вопрос неманипулируемости комплексной оценки, получаемой при использовании матрицы свертки, элементы которой определялись с помощью МАОММ. Фактически требуется проверить – является ли комплексная оценка, полученная по групповой матрице, где все элементы являются медианами сообщений агентов, медианой комплексных оценок, которые бы получились при исходных матрицах, образованных сообщениями агентов?

Сформулируем математическую постановку этой задачи. Пусть агенты  $i \in N = \{1, \dots, n\}$  сообщают свои матрицы свертки  $s^i = \{s_{kl}^i\}$ ,  $k \in \{1, \dots, \bar{k}\}$ ,  $l \in \{1, \dots, \bar{l}\}$ ,  $\forall k, l \quad s_{kl}^i \in [z_{kl}, \bar{z}_{kl}]$ . Обозначим  $s_{kl} = \{s_{kl}^i\}_{i \in N}$ . По сообщениям агентов с помощью любой процедуры согласования, удовлетворяющей условиям непрерывности, монотонности и единогласия [8], образуется  $n-1$  матриц фантомов  $w^j = \{w_{kl}^j\}$ ,  $j \in M = \{1, \dots, n-1\}$ ,  $\forall k, l \quad w_{kl}^j \in [z_{kl}, \bar{z}_{kl}]$ . Обозначим  $w_{kl} = \{w_{kl}^j\}_{j \in M}$ . В результате применения матричного анонимного обобщенного медианного механизма [5] получается матрица  $z = \{z_{kl}\}$ , элементы которой являются медианами множеств сообщений агентов и фантомов  $z_{kl} = \text{med}(s_{kl}, w_{kl})$ ,

Комплексная оценка  $v(X_k, X_l)$  определяется согласно матричному аддитивно-мультипликативному механизму комплексного оценивания [1] так:

$$v = j_3 + \gamma_1 \cdot (j_5 - j_3) + \gamma_2 \cdot (j_4 - j_3) + \gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot (j_6 + j_3 - j_5 - j_4), \quad (1)$$

где введены следующие обозначения:

$$\gamma_1 = \lceil X_k \rceil, X_k \in [1, \bar{k}], \gamma_2 = \lceil X_l \rceil, X_l \in [1, \bar{l}], \quad (2)$$

$$j_3 = z_{kl} \mid k = \lfloor X_k \rfloor, l = \lfloor X_l \rfloor, j_4 = z_{kl} \mid k = \min\{\lfloor X_k + 1 \rfloor, \bar{k}\}, l = \lfloor X_l \rfloor, \quad (3)$$

$$j_5 = z_{kl} \mid k = \lfloor X_k \rfloor, l = \min\{\lfloor X_l + 1 \rfloor, \bar{l}\}, j_6 = z_{kl} \mid k = \min\{\lfloor X_k + 1 \rfloor, \bar{k}\}, l = \min\{\lfloor X_l + 1 \rfloor, \bar{l}\}, \quad (4)$$

Для определения комплексной оценки по исходным матрицам агентов в выражениях (3) и (4) вместо  $z_{kl}$  необходимо использовать  $s_{kl}^i$ ,  $i \in N = \{1, \dots, n\}$ , фантомов –  $w_{kl}$ .

Преобразуем выражение (1), раскрыв скобки и выделив слагаемые с множителями  $j_3$ ,  $j_4$ ,  $j_5$  и  $j_6$  (7):

$$v = j_3 \cdot (1 - (\gamma_1 + \gamma_2 - \gamma_1 \cdot \gamma_2)) + j_4 \cdot \gamma_2 \cdot (1 - \gamma_1) + j_5 \cdot \gamma_1 \cdot (1 - \gamma_2) + j_6 \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2 \quad (5)$$

Как видно из выражения (7), все слагаемые являются положительными при любых значениях  $X_k$  и  $X_l$ , т.к.  $\gamma_1 \in [0, 1]$  и  $\gamma_2 \in [0, 1]$  согласно (2), т.е. выражение (5), а значит и (1), описывают монотонную функцию.

Справедливо, что для некоторой функции, являющейся линейной комбинацией нескольких переменных, медиане множества значений этой функции, образованных на множествах ее переменных, соответствует уравнение прямой в многомерном пространстве. Несложно убедиться в том, что эта прямая при любых множителях линейной функции будет проходить через точку, соответствующую медианам множеств переменных. Другими словами, линейная комбинация медиан множеств переменных является медианной множества значений этой функции. Последнее утверждение справедливо и для выражений (1) и (5). Поскольку элементы матрицы, которые соответствуют переменным  $j_3$ ,  $j_4$ ,  $j_5$  и  $j_6$  в (5), согласно МАОММ [5] являются медианами множеств сообщений агентов и фантомов, то и комплексная оценка, полученная с помощью (5) является медианной комплексных

оценок полученных по исходным матрицам агентов и фантомов, что и требовалось проверить. Очевидно, что это будет выполняться при любых значениях  $\gamma_1 \in [0,1]$  и  $\gamma_2 \in [0,1]$ , а значит и  $X_k$  и  $X_l$ .

### Библиографический список

1. *Алексеев А.О.* Аддитивно-мультипликативный матричный механизм нечеткого комплексного оценивания и эквивалентный ему непрерывный механизм // Современные сложные системы управления: мат. XII межд. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 15-20.
2. *Алексеев А.О.* Матричные механизмы комплексного оценивания, элементы матриц свертки которых определены в нечетком виде // Управление большими системами. (УБС-2017): мат. XIV Всеросс. шк.-конф. мол. учен. – 2017. – С. 219-233.
3. *Алексеев А.О., Коргин Н.А.* Деловая игра «Матричная активная экспертиза» // Управление большими системами (УБС'2016): мат. XIII Всерос. шк.-конф. мол. учен. Под общ. ред. Новикова Д.А., Засканова В.Г.; Ин-т пробл. упр-я им. В.А. Трапезникова РАН; Самар. ун-т. – 2016. – С. 242-256.
4. *Алексеев А.О., Коргин Н.А.* Матричный анонимный обобщенный медианный механизм с правом делегирования сообщений // Прикладная математика и вопросы управления. – 2016. – №4. – С. 137-156.
5. *Алексеев А.О., Коргин Н.А.* О применении обобщенных медианных схем для матричной активной экспертизы // Прикладная математика, механика и процессы управления. – 2015. – Т.1 – С. 170-177.
6. *Андроникова Н.Г., Леонтьев С.В., Новиков Д.А.* Процедуры нечёткого комплексного оценивания // Современные сложные системы управления: Тр. межд. науч.-пр. конф. – Липецк. 2002. С. 7– 8
7. *Анохин А.М. Гусев В.Б. Павельев В.В.* Комплексное оценивание и оптимизация на моделях многомерных объектов. М.: ИПУ РАН. 2003. 79 с. (Научное издание / Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН)
8. *Бурков В.Н., Исаков М.Б., Н.А. Коргин* Применение обобщенных медианных схем для построения неманипулируемых механизмов активной экспертизы // Проблемы управления. – №4. – 2008. – С. 38-47
9. *Бурков В.Н., Кондратьев В.В., Цыганов В.В., Черкашин А.М.* Теория активных систем и совершенствование хозяйственного механизма. М.: Наука. 1984. 272 с.
10. *Глотов В.А., Павельев В.В.* Векторная стратификация. М.: Наука. 1984. 132 с.
11. Программный модуль экспериментального исследования устойчивости матричного анонимного обобщённого медианного механизма к стратегическому поведению агентов. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016660758 от 21.09.2016 г. / Алексеев А.О., Мелехин М.И., Шайдулин Р.Ф., Спирина В.С., Коргин Н.А., Корепанов В.О. (РФ)
12. *Харитонов В. А., Винокур И. Р., Белых А. А.* Функциональные возможности механизмов комплексного оценивания с топологической интерпретацией матриц свёртки // Управление большими системами. Выпуск 18. М.: ИПУ РАН. 2007. С. 129 – 140.

# **STRATEGY-PROOF MECHANISM OF THE COMPLEX EVALUATION WITH USING BY THE MATRIX ANONYMOUS GENERALIZED MEDIAN SCHEMES**

*Alekseev Alexander O.*

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614000,  
alekseev@cems.pstu.ru

The synthesis of the mechanisms of complex evaluation and active examination, the use of which is in demand in many subject areas during the group examination of complex objects described by the property vector, is discussed. The performance of the nonmanipulability property of the additive-multiplicative mechanism of complex estimation, i.e. the stability of this control mechanism to the strategic behavior of active agents with the ability to distort information about their capabilities and preferences to achieve their own goals, is shown.

**Keywords:** control mechanisms, aggregation mechanism, complex evaluation, matrixes of convolution, active examination, generalized median schemes, strategy-proof mechanism.

## Р-АДИЧЕСКОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИНДЕКСА РТС

*Ахуньянова Софья Алексеевна*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Дзержинского, 2а, sofi\_perm@mail.ru

Ставится вопрос о возможности применения в социально-гуманитарных науках, в частности, в экономике, математического аппарата. Дается краткая историческая справка об использовании математических методов в экономике. В качестве математического метода, на основе которого можно проводить исследования колебаний цен финансовых инструментов, предлагается  $p$ -адическая кусочно-линейная аппроксимация. Изучаются основы  $p$ -адической математики: дается определение  $p$ -адического числа, его формальное представление через связь с действительным числом, перечисляются арифметические операции, которые производятся на  $p$ -адических числах. Изучаются особенности  $p$ -адического моделирования экономических процессов: определяется оптимальное количество исходных (моделируемых) точек. Для этого строится несколько  $p$ -адических моделей динамики индекса РТС. Среди полученных моделей наименьшей погрешностью, скорректированной на величину входящих в модель точек, обладает  $p$ -адическая кусочно-линейная аппроксимация, найденная для 54-х точек. Исследуется возможность  $p$ -адического предсказания значений индекса РТС.

Ключевые слова. Математический метод  $p$ -адического моделирования, ультраметрическое пространство, динамика индекса РТС, оценка погрешности.

Появление математики как науки связано с необходимостью в формализации, в первую очередь, физических процессов и явлений. Однако с недавних пор математический аппарат используется и в социально-гуманитарных науках, в том числе экономической науке, хотя известно многовековое применение человеком математики в своей практической деятельности. Например, геометрия и алгебра применялись для разнообразных хозяйственных измерений и вычислений. Недаром немецкий математик К. Гаусс (1777 – 1855) говорил, что математика – «царица наук».

Для всех областей знаний, входящих в состав социально-гуманитарных наук, объект исследования одинаков. В качестве него выступает общество как система, имеющая внутреннее содержание: элементы, связи, структуру. Предмет же исследования специфичный для каждой из областей знаний. Так, предметом изучения в экономической науке является «экономический» человек, экономические явления и процессы, отношения в обществе, возникающие по поводу производства, распределения, обмена и потребления материальных товаров и услуг. Таким образом, объект исследования в экономике, как и для любой области знаний, которая относится к социально-гуманитарным наукам, имеет гуманитарный характер, определяемый качественным содержанием, что трудно представимо количественными методами. С другой стороны, экономические явления и процессы как предмет исследования экономики можно представить в формализованном виде.

Таким образом, данная статья нацелена на изучение такого экономического процесса, как ценовые колебания финансовых инструментов, с помощью математического аппарата –  $p$ -адического анализа.

### **Краткий исторический обзор применения математических методов в экономике**

Для начала стоит упомянуть об истории применения математических методов в экономике. Родоначальник классической политической экономии У. Петти (1623 – 1687) в предисловии к «Политической арифметике» писал: «... вместо того, чтобы употреблять слова только в сравнительной и превосходной степени и прибегать к умозрительным аргументам, я вступил на путь выражения своих мнений на языке чисел, весов и мер...» [1].

Первая в мире модель народного хозяйства (или «экономическая таблица» процесса общественного воспроизводства) была создана французским ученым Ф. Кенэ (1694 – 1774).

Значительное влияние на развитие методологии экономико-математических исследований оказали труды К. Маркса (1818 – 1883). В «Капитале» К. Маркса содержится большое количество примеров использования математических методов: математическая формулировка соотношения стоимости и производительности труда, законы массы прибавочной стоимости и денежного обращения и др. П. Лафраг в воспоминаниях о К. Марксе писал так: «В высшей математике он находил диалектическое движение в его наиболее логичной и в то же время простейшей форме. Он считал также, что наука только тогда достигает совершенства, когда ей удастся пользоваться математикой» [2].

В рамках буржуазной экономической науки XIX – XX вв. можно выделить три основных этапа развития экономико-математических исследований [3]:

1. Математическая школа в политэкономии (XIX в.). В рамках данной научной школы постулировалось, что обосновывать положения экономической теории можно только математически, а все выводы, полученные иными способами, могут приниматься в лучшем случае в качестве научных гипотез.
2. Статистическое направление, статистическая экономика (нач. XX в.). Представители данной школы пренебрегали теоретическим анализом, используя только эмпирический материал и конкретные экономические факты.
3. Эконометрика (XX в.). Данное направление представляет собой синтез экономической теории, математики и статистики.

В настоящее время эконометрика является наиболее быстро развивающейся и потому востребованной областью экономической науки. С помощью эконометрики ведутся исследования динамики цен на финансовых рынках. И это по преимуществу инструментарий экономистов. Если говорить об обратном изучении – об изучении колебаний цен с позиций математики – то следует рассматривать  $p$ -адический анализ.

В 1897 г. К. Гензелем были введены  $p$ -адические числа для решения диофантовых (полиномиальных) уравнений. В течение почти 100 лет после открытия  $p$ -адических чисел они рассматривались лишь как объекты чистой математики:  $p$ -адические числа нашли свое применение в различных математических областях таких, как алгебраическая геометрия, теория представлений и теория чисел [4]. Далее с 1980-х гг.  $p$ -адические числа стали использоваться в физике (например,  $p$ -адические модели квантовой механики и теории струн, описывающие изменение геометрии пространства на планковских масштабах), биологии (например, описание моделей мышления на основе  $p$ -адического анализа). См., напр., в [5].

С 2000-х гг.  $p$ -адические числа предложено применять в экономике, для описания колебаний цен, наблюдаемых на финансовых рынках. Во-первых, на основе анализа типов отображений (функций) между различными полями  $p$ -адических чисел определены области эконометрики, для которых возможно применение аппарата  $p$ -адической математики [6]. Во-вторых, разработаны  $p$ -адические модели ценовых колебаний [7]. В-третьих, ведутся работы по определению типов  $p$ -адических прогнозных сценариев [8], по сравнению  $p$ -адических и эконометрических моделей и прогнозов [9].

## Краткий обзор основ $p$ -адической математики

Существующие методы классической математики описывают метрические характеристики различных эконометрических переменных, используя только «обычную» евклидову метрику, которая, конечно, в настоящей пространственно-временной среде вполне обоснована, однако имеет определенные ограничения. Одно из важных ограничений заключается в том, что евклидова метрика не способна описать свойства сложных систем, пространство переменных которых имеет иерархическую структуру, в то время, как ультраметрические пространства являются естественной моделью для систем с иерархией: шары дробятся на подшары иерархическим образом, и расстояние от точки вне шара до точки внутри шара определяется только шаром (т.е. иерархически зависит от шаров) [10].

Важнейшим примером ультраметрического пространства является поле  $p$ -адических чисел [10].  $p$ -адическая метрика считается естественным методом описания свойств этих систем. Если говорить о преимуществах  $p$ -адической метрики, то оно также состоит в результатах всех измерений: они являются рациональными числами и принадлежат как множеству действительных чисел, так и множеству  $p$ -адических чисел [6].

Далее приведем определение, структурные (форма записи) и алгебраические (арифметические операции) свойства  $p$ -адических чисел.

**Определение [11].**  $p$ -адическим числом  $p$  называется такое простое число ( $p \in N$ ), которое удовлетворяет тождеству:

$$x \equiv 0 \pmod{p^\gamma}, \quad (1)$$

где:  $x \in Z$  – произвольное ненулевое целое число,

$\gamma \in N$  – наибольшее целое неотрицательное число.

Тождество (1) означает, что  $p^\gamma$  делит  $x - 0$

**Утверждение [12].** Пусть  $p \in \{2, 3, 5, 7, 11, 13, \dots\}$  – некоторое простое число. Тогда любое вещественное (действительное) число может быть записано в виде ряда:

$$x = p^\gamma (a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + \dots) = p^\gamma \sum_{i=0}^{\infty} a_i p^i, \quad (2)$$

где:  $\gamma, a_i \in Z$  – целые,  $0 \leq a_i \leq p - 1$

Если  $a_0 \neq 0$ , то представление (2) однозначно.

На  $p$ -адических числах можно ввести арифметические операции: сложение, вычитание, умножение и деление. Операции производятся аналогично операциям со степенными рядами. Поле  $Q_p$  является коммутативно-ассоциативной группой по сложению,  $Q_p / \{0\}$  является коммутативно-ассоциативной группой по умножению [13].

В заключение хотелось бы отметить следующее. Существует связь между полями действительных и  $p$ -адических чисел: действительные числа можно представить посредством функции, независимая переменная которой имеет  $p$ -адическое значение. При этом сама функция может либо принимать, либо не принимать  $p$ -адическое значение [6]. Далее предпринята попытка на основе свойств  $p$ -адических чисел и изложенного предположения смоделировать процесс динамики индекса РТС.

## Постановка и результаты решения задачи исследования

Цель исследования в работе – изучение особенностей математического метода  $p$ -адического моделирования. В этой связи возникает вопрос о том, какой горизонт моделирования является оптимальным для построения наиболее удачной  $p$ -адической кусочно-линейной аппроксимации, т.е. аппроксимации, имеющей наименьшую из найденных в рамках эксперимента величину погрешности. Для ответа на поставленный вопрос отобраны данные индекса РТС в почасовой динамике [14]. На основе отобранных данных получены данные по доходностям индекса РТС, согласно формуле (3) [15].

$$r = \ln[y(t)] - \ln[y(t - \Delta t)], \quad (3)$$

где:  $r$ – величина доходности;

$y(t)$ – величина цены закрытия в текущий момент времени, т.е. в момент времени  $t$ ;

$y(t-\Delta t)$ – величина цены закрытия в предыдущий момент времени, т.е. в момент времени  $t - \Delta t$ , где  $\Delta t$  – интервал времени, за которое происходит изменение величины цены закрытия.

В рамках настоящей работы  $\Delta t = 1$  час, причем в 1 дне = 9 часов.

В рамках проводимого эксперимента приняты следующие предпосылки.

1. Количество входящих в модель точек выбрано на основе последовательности Фибоначчи. Данная предпосылка исходит из того, что финансовые временные ряды (а именно, величина доходности) являются масштабно-инвариантными [15], т.е. обладают свойством сохранять свой вид при изменении всех расстояний и промежутков времени в одинаковое число раз. Причем подразумевается лишь изменение единиц измерения, само пространство-время остаётся неизменным. Другими словами, финансовые ряды представляют собой фракталы, а они могут быть получены на основе чисел Фибоначчи.
2. Для всех моделей (они являются моделями паттерна «Флэт», что переводится с англ. «Flat» как «плоский», «ровный») значение  $p$ -адического числа равно двум.
3. Для всего периода моделирования нивелирована разница между  $\Delta t$ , определяющим время внутри одного дня, и  $\Delta t$ , определяющим время между двумя днями.

Таким образом, решая задачу  $p$ -адического моделирования по методике, представленной в [9], с учетом формулы (3) и вышеизложенных предпосылок построены пять  $p$ -адических кусочно-линейных аппроксимации, полученные на основе 9, 36, 54, 90, 144 моделируемых точек. Данное количество точек полностью или приблизительно соответствует последовательности Фибоначчи. Сравнение моделей произведено на основе оценки погрешности модели в целом (4) и оценки погрешности, приходящейся на одну исходную (моделируемую, аппроксимирующую) точку (5).

$$\varepsilon = \sum_{t=1}^T |y - \hat{y}_{s,j}| \quad (4)$$

$$\varepsilon' = \frac{\sum_{t=1}^T |y - \hat{y}_{s,j}|}{T} \quad (5)$$

где:  $y$ – исходные данные;

$\hat{y}_{s,j}$  – данные, полученные на основе модели;

$t = \overline{1, T}$  – количество исходных (моделируемых) точек.

Результаты эксперимента удобно представить в виде таблицы (Таблица. 1).

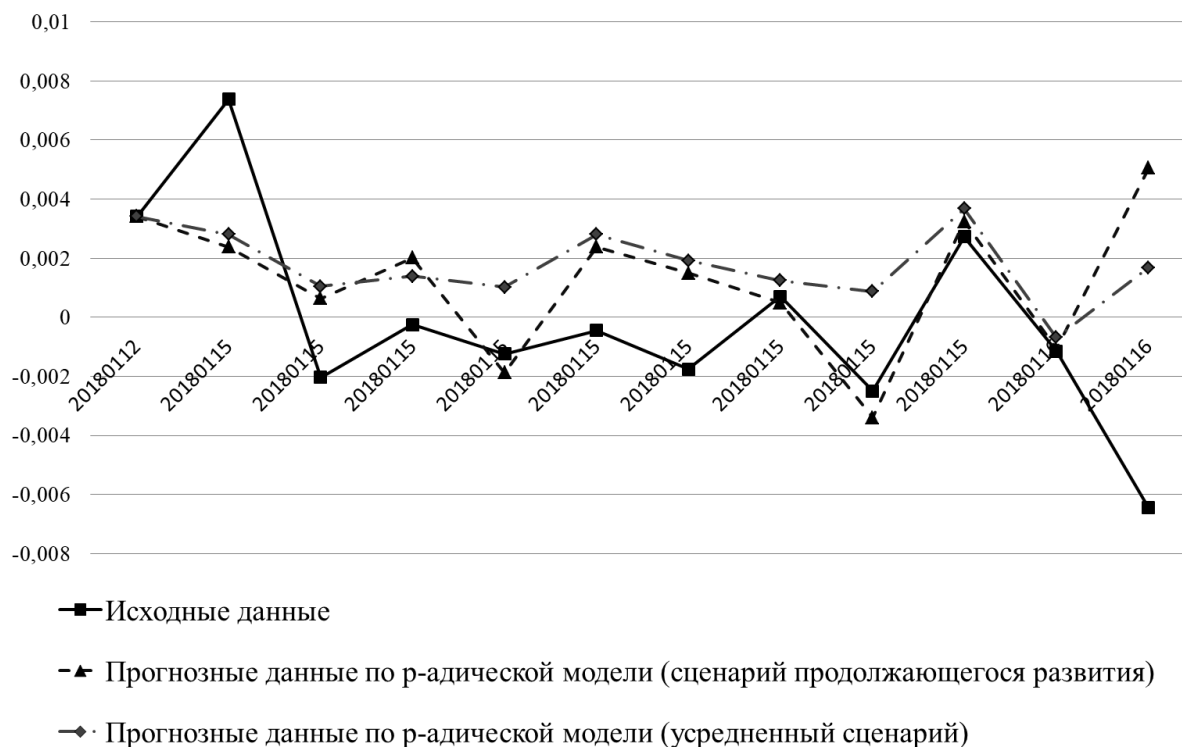
**Таблица 1 Сравнительная таблица оценок погрешности  $p$ -адических моделей**

Модель на основе -ого количества точек	$\varepsilon$ (общая оценка погрешности)	$\varepsilon'$ (часть погрешности, приходящаяся на одну исходную точку)
T = 9	<b>0,0000098273</b>	<b>0,00000109192</b>
T = 36	0,035218664	0,000978296
T = 54	<b>0,006457614</b>	<b>0,000119585</b>
T = 90	0,092503129	0,001027813
T = 144	0,216548362	0,001503808

На основании таблицы можно сделать вывод о том, что оптимальное количество исходных точек для  $p$ -адического моделирования флуктуационных процессов, представленных в виде почасовых данных доходности, равно 9-ти. Несмотря на это, полученные на основе данной модели прогнозы (даже на одну точку вперед) плохо адаптированы к реальным данным: прогнозные значения показывают противоположное



действительному движению доходности индекса РТС. Если рассмотреть модель, составленную на основе 54-х точек, то прогнозные значения, получаемые на ее основе, дают хорошее приближение к реальным данным (см. рис. 1) для будущих 10-ти значений (11-ая точка определяет противоположное реальному движению). Для построенной  $p$ -адической модели лучшее приближение дает сценарий продолжающегося развития, что подтверждает вывод, сделанный в работе [8].



**Рис. 1** График реальных данных (динамики доходности индекса РТС) на прогнозный период и графики прогнозов двух типов на основе  $p$ -адической модели, построенной по 54-м точкам

Таким образом, неотъемлемой частью современных исследований становится их междисциплинарность. Данная тенденция говорит, о возможности обнаружения новых проблем, образующихся на стыках наук, а также о возможности решения старых задач одной науки с помощью методов другой науки. В этом плане интересным представляются исследования экономических процессов и явлений с помощью инструментария математики.

### Библиографический список

1. *Петти У.* Экономические и статистические работы. - М.: Соцэкгиз. 1940.
2. Воспоминания о Марксе и Энгельсе / Институт марксизма-ленинизма при ЦК КПСС. – М.: Госполитиздат, 1956. – XII, 423 с., 24 л. ил.: ил.
3. *Солдатенко Л.В.* Введение в математическое моделирование строительно-технологических задач: уч. Пособие / Л. В. Солдатенко. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2009. – 161 с.
4. *Альбеверю С.А., Тироцци Б., Хренников А.Ю., Шмедт С.*  $p$ -адические динамические системы // Теоретическая и математическая физика. 1998. Том 114, номер 3. С. 349–365.
5. *Khrennikov A.* Non-archimedean analysis: quantum paradoxes, dynamical systems and biological models. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. 371 p.
6. *Dragovic B., Joksimovic D.* On possible uses of  $p$ -adic analysis in econometrics. Megatrend Review. 2007. V. 4, № 2, 5–16 pp.
7. *Жарков В.М.* Адельная теория фондового рынка // Вестник Пермского университета. Сер. «Информационные системы и технологии». 2003. – Выпуск 6. – С. 75–81.
8. *Симонов П.М., Филимонова С.А.*  $p$ -адическое моделирование динамики индекса РТС в зависимости от таймфреймов // Вестник ПГУ. Сер. «Экономика». 2016. № 4 (31). С. 74–85. doi: 10.17072/1994-9960-2016-4-74-85.
9. *Ахуньянова С. А., Симонов П. М.* Моделирование и прогнозирование на финансовых рынках с помощью эконометрики и эконофизики [Электронный ресурс]: монография / С. А. Ахуньянова, П. М. Симонов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Электрон. дан. – Пермь, 2017. – 5 Мб. – Режим доступа: <https://elis.psu.ru/node/>. – Загл. с титул. экрана.
10. *Волович И.В., С. В. Козырев С.В.*  $p$ -адическая математическая физика: основные конструкции, применения к сложным и наноскопическим системам // Математическая физика и её приложения. Вводные курсы. Выпуск 1, 2009, с. 1–30.
11. *Коблиц Н.*  $p$ -адические числа,  $p$ -адический анализ и дзета-функции. Пер с англ. В.В. Шокурова / Под ред. и с предисловием Ю.И. Манина. М.: Мир, 1981. 192 с.
12. *Владимиров В.С., Волович И.В., Зеленев Е.И.*  $p$ -адический анализ и математическая физика. М.: Физмалит, 1994. 352 с.
13. *Sorenson J.* Exploring  $p$ -adic numbers and Dirichlet characters. Rochester: University of Rochester, Professor John Harper, МТН 391W, Spring 2009. 17 p.
14. Инвестиционная компания «Финам» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.finam.ru/>, свободный.
15. *Дубовиков М.М.* Эконофизика. Обзор основных направлений // Журнал Новой экономической ассоциации. Первый Всероссийский конгресс по эконофизике «Эконофизика, финансовые рынки, экономический рост» 3-4 июня 2009 г., Москва. 2009. С. 260–265. (материалы доклада взяты с URL: <http://www.myshared.ru/slide/748767/>) (дата обращения 10.02.2017).

## **P-ADIC MATHEMATIC MODELING OF THE DYNAMICS OF THE RTS INDEX**

*Akhunyanova Sofya A.*

Perm State University, 2a, Dzerzhinskogo st., Perm, 614990, Russia, sofi\_perm@mail.ru

Abstract. The question is put of the possibility of application mathematical methods in the social-humanitarian sciences, in particular, in the economy. There is given a brief historical information about the use of mathematical methods. One of the mathematical method for research the price fluctuations on the financial market is the  $p$ -adic piecewise linear approximation. We study the basics of  $p$ -adic mathematics: there is given the definition of  $p$ -adic number and its formal representation through the relationship with the real number, the arithmetic operations on the  $p$ -adic numbers are listed. The features of the  $p$ -adic modeling of economic processes are studied: the optimal number of input (modeled) points is determined. For this purpose it is built a few  $p$ -adic models of the dynamics of the RTS index. Among the obtained models, the  $p$ -adic piecewise linear approximation that is found for 54 points, has the smallest error corrected by the value of the points included in the model. The possibility of the  $p$ -adic prediction of RTS index values is studied.

Keywords: mathematic method of the  $p$ -adic modelling, ultrametric space, the dynamics of the RTS index, estimation of error.

## ПЕРКОЛЯЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ ПОЛИМЕРА, МОДИФИЦИРОВАННОЙ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

*Боков Кирилл Александрович, Бузмакова Мария Михайловна*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, cyrilevel@rambler.ru

В настоящей работе предложена и исследована перколяционная модель структуры тонкой пленки полимера, содержащего углеродные нанотрубки (УНТ). Полимерная матрица представлена в виде квадратной решетки с линейным размером  $L$  (количество узлов), в роли УНТ выступают  $k$ -меры различной длины  $k$ .  $k$ -мер представляет собой  $k$  подряд занятых узлов в горизонтальном или вертикальном направлении. Значение длины  $k$ -мера удовлетворяет нормальному распределению с математическим ожиданием  $\bar{k} = 100$  и различными значениями дисперсии. На квадратной решетке равномерно диспергируются  $k$ -меры.  $k$ -меры не могут пересекаться между собой. Горизонтальные и вертикальные ориентации  $k$ -меров равновероятны. При моделировании используются периодические граничные условия. Координатами начала  $k$ -мера и его ориентация являются случайно сгенерированные числа. Получены значения порога перколяции при  $\bar{k} = 100$  и различных значений дисперсии. Порог перколяции соответствует критической концентрации УНТ в полимере, при которой наноматериал меняет свои свойства.

Ключевые слова: математическое и компьютерное моделирование, полимерные нанокompозиты, углеродные нанотрубки.

### Введение

Перколяционные модели успешно используются для описания структуры и свойств полимерных нанокompозитов [см., например, 1-2]. Известно, что для таких материалов характерно перколяционное поведение – скачкообразное изменение свойств наноматериала при изменении концентрации наномодификатора. Критическая концентрация, при которой меняется или возникает какое-либо свойство материала, соответствует порогу перколяции. Известно, что УНТ не имеют фиксированную длину, поэтому имеет смысл построить перколяционную модель полимерного нанокompозита, в которой этот фактор был бы учтен.

В настоящей работе предложена и исследована перколяционная модель тонкой пленки полимера, модифицированного углеродными нанотрубками, длины которых удовлетворяют нормальному распределению.

### Постановка задачи и методы моделирования

В рамках предложенной перколяционной модели в роли полимерной матрицы выступает квадратная решетка, углеродные нанотрубки –  $k$ -меры.  $k$ -мер представляет  $k$  подряд занятых узлов решетки в одном направлении (горизонтальном или вертикальном). Горизонтальные и вертикальные ориентации  $k$ -меров равновероятны.  $k$ -меры равномерно распределены по всей решетке. Значение длины  $k$ -мера удовлетворяет нормальному распределению с математическим ожиданием  $\bar{k} = 100$  и разными значениями среднеквадратического отклонения  $\sigma$ . Математическое ожидание равно 100 узлам, так как

аспектное отношение (отношение длины УНТ к диаметру) малой нанотрубки приблизительно равно 100.

$k$ -меры могут образовывать кластеры – группы рядом находящихся занятых узлов. При увеличении концентрации  $k$ -меров увеличивается количество и размеры кластеров, малые кластеры начинают объединяться в большие и далее на решетке образуется перколяционный кластер – кластер, пронизывающий всю систему. Основной задачей перколяции является определение порога перколяции. Порог перколяции соответствует концентрации  $k$ -меров в системе, при которой вероятность возникновения перколяционного кластера равна 50 %.

Варьируемая длина  $k$ -меров получена с помощью преобразования Бокса-Мюллера, которое позволяет получить нормально распределенные случайные величины на основе равномерно распределенных величин [3].

Моделирование проводилось с использованием методов Монте-Карло. Для реализации модели была написана программа с пользовательским интерфейсом на языке программирования С#. Для равномерного диспергирования  $k$ -меров на квадратной решетке, распределения  $k$ -меров по кластерам и поиска перколяционного кластера были разработаны эффективные алгоритмы [4]. При моделировании использованы периодические граничные условия.

Результатом работы программы являются текстовые файлы с данными по вероятности возникновения перколяционного кластера в зависимости от значения концентрации  $k$ -меров. Данные вычислительного эксперимента аппроксимируются функцией вида:

$$P(p) = (1 + \exp(-(p - p_c(L))a))^{-1}$$

При аппроксимации экспериментальных данных определяется порог перколяции для решетки конечного размера  $L$ . Далее для каждого значения длины  $k$ -мера находится как минимум три значения порога перколяции для различных решеток. Значение порога перколяции для случая бесконечной системы определяется с помощью скейлингового соотношения

$|p_c(L) - p_c(\infty)| \propto L^{-1/\nu}$ , где  $\nu$  – универсальный критический показатель и равен 4/3 в случае рассмотрения двумерных перколяционных задач. Методика определения порога перколяции подробнее описана в [5].

### Результаты и обсуждение

Получены предварительные результаты моделирования для  $L=10000$ ,  $K=1000$ ,  $k=100$  и  $\bar{k} = 100$ ,  $\sigma=2, 3, 4$ , которые представлены на рисунке 1:

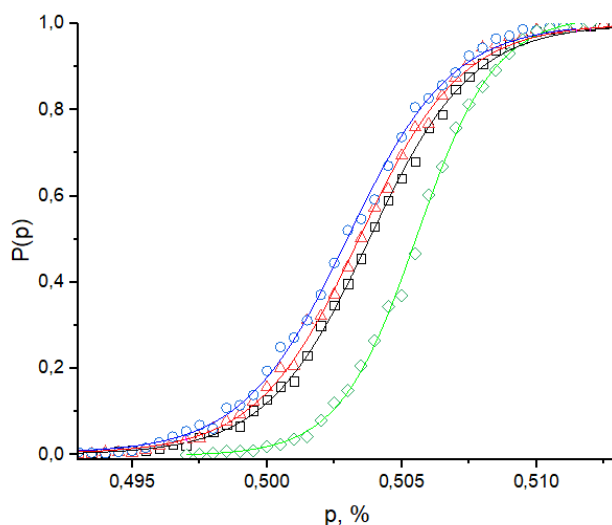


Рис. 1. Вероятность возникновения перколяционного кластера при  $\diamond - k=100, \sigma=2$ ,  $\square - k=100, \sigma=3$ ,  $\triangle - k=100, \sigma=4$

Соответствующие значения порога перколяции приведены в таблице 1. Нетрудно заметить, что при увеличении разброса длины  $k$ -мера порог перколяции уменьшается. Автором предполагается исследование поведения порога перколяции от увеличения значения дисперсии.

**Таблица 1. Пороги перколяции при разных значениях  $\sigma$**

$\sigma$	$P_c$
0 (постоянная длина $k$ -мера)	0,50424±0,00003
2	0,5038±0,00003
3	0,50342±0,00003
4	0,50299±0,00003

### Библиографический список

1. *Silva J., Ribeiro S., Lanceros-Mendez S., Simões R.* The influence of matrix mediated hopping conductivity, filler concentration, aspect ratio and orientation on the electrical response of carbon nanotube/polymer nanocomposites // *Composites Science and Technology*. 2011. V. 71. P. 643-646.
2. *Heng Gu1, Jiaojiao Wang, Choongho Yu* Three-dimensional Modeling of Percolation Behavior of Electrical Conductivity in Segregated Network Polymer Nanocomposites Using Monte Carlo Method [Электронный ресурс] URL: <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/am> (дата обращения: 11.09.2017)
3. *Гельгор А. Л.* Методы моделирования случайных величин и случайных процессов. СПб.: Издательство политехнического университета. 2012
4. *Боков К. А., Бузмакова М. М.* Компьютерное моделирование перколяции  $k$ -меров на квадратной решетке // *Вестник Пермского университета*. 2017.
5. *Бузмакова М. М.* Компьютерное моделирование континуальной перколяции сфер и эллипсоидов с проницаемыми оболочками // диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, Астрахань, 2013. 168 с.

## THE MODELING OF THIN POLYMER FILMS MODIFIED BY THE CARBON NANOTUBES USING THE METHODS OF THE PERCOLATION THEORY

*Bokov Kirill A., Buzmakova Mariya M.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, cyrilevel@rambler.ru

The mathematical model of the structure of the thin tape of the polymer containing the carbon nanotubes (UNT) is proposed in the present work. The polymer matrix is presented by the square lattice with the linear size  $L$  (the number of nodes),  $k$ -meres act as UNT.  $k$ -meres represents by the row of the  $k$  taken nodes in the horizontal or the vertical direction.  $k$ -meres length value satisfies a normal distribution with a mathematical expectation of  $\bar{k} = 100$ . The effective algorithm of the uniform distribution of the UNT in the polymer is proposed for the model. On the square lattice  $k$ -meres are uniformly dispersed.  $k$ -meres can't be crossed among themselves. The horizontal and vertical orientation of the  $k$ -meres is equally probable. The periodic boundary conditions are used for the modeling. The coordinates of the  $k$ -mer' beginning and his orientation is randomly generated numbers. The obtained value of the percolation threshold at  $\bar{k} = 100$ . The percolation threshold corresponds to the UNT critical concentration in the polymer at which the nanomaterial changes its properties.

Keywords: the mathematical and computer modeling, the polymer nanocomposites, carbon nanotubes.

## ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ С ДОЛГОЙ ПАМЯТЬЮ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ФОНДОВОГО ИНДЕКСА

*Гарафутдинов Роберт Викторович*

Национальный Исследовательский Университет Высшая школа экономики, Пермский филиал, 614070, Россия, г. Пермь, ул. Студенческая, 38, rvgarafutdinov@edu.hse.ru

Обоснована актуальность проблемы предсказания динамики фондовых рынков. Рассмотрены некоторые современные подходы к прогнозированию финансовых временных рядов. Описаны такие свойства случайных процессов, как долгая память (персистентность), стационарность. Изложены методики построения и оценки качества стохастических моделей ARIMA и моделей с долгой памятью ARFIMA. Дана интерпретация показателя Херста. Рассмотренные модели обучены и протестированы на ряде исторических значений фондового индекса. Обосновано применение кросс-валидации как подхода, повышающего объективность и точность прогнозирования. Получены отрицательные результаты, свидетельствующие о недостатках использованных методик, высказаны предположения о причинах таких результатов.

Ключевые слова: прогнозирование временных рядов, долгая память, ARIMA, ARFIMA, показатель Херста, кросс-валидация.

Функционирование современной рыночной экономики невозможно без привлечения и перераспределения капиталов. Одним из основных механизмов для решения этих задач является фондовый рынок, где капитал перераспределяется посредством купли-продажи ценных бумаг. Как показывает практика, динамика курсов финансовых инструментов – процесс стохастический (случайный), чем обусловлено наличие высоких финансовых рисков у инвесторов, работающих на фондовых рынках. Желание игроков предсказать динамику рынка, «обыграть» его породило немалое количество исследований и теорий в этой области.

На сегодняшний день существуют различные подходы к анализу и предсказанию цен финансовых инструментов. Это и традиционные виды анализа – фундаментальный, технический; и статистические методы; и инновационные подходы, основанные на машинном обучении (в частности, нейросетевой анализ). Относительно новым подходом к прогнозированию временных рядов является анализ процессов с долгой памятью (long-memory), возникший в результате приложения фрактальной геометрии Мандельброта к классическим статистическим методам моделирования, таким как ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average). Эффектом долгой памяти (или персистентности) называется способность временного ряда поддерживать тенденцию изменения, то есть при его наличии наблюдается зависимость между отдаленными значениями ряда. В основе подхода лежит следующее положение: временной ряд может иметь постоянные статистические характеристики при масштабировании во времени, то есть обладать фрактальными свойствами. Если вычислить фрактальные характеристики финансовых инструментов, это позволит осуществлять прогнозы их будущих значений с более высокой точностью в сравнении с традиционными методами, не учитывающими фрактальной природы показателей [1]. Примером инструментария для такого анализа является модель типа

ARFIMA (Autoregressive Fractionally Integrated Moving Average). Она представляет собой обобщение ARIMA, допускающее использование дробного порядка интегрированности ряда, что является математической интерпретацией наличия в нем долгой памяти [2].

Применение фрактального анализа и методологии ARFIMA для прогнозирования финансовых временных рядов в настоящее время исследовано недостаточно подробно, об этом свидетельствует сравнительно небольшое количество русскоязычных публикаций по данной тематике, в чем можно убедиться, изучив выдачу по соответствующему запросу поисковой системы «Google Академия». Так, Е.С. Остапенко и Т.А. Дунаева применяли данный подход для анализа цен на акции компании Google [2, 2010], М.В. Прудский использовал ARFIMA-моделирование для предсказания курса доллара [1, 2012], Ю. Балагула – для прогнозирования цен на электроэнергию [3, 2016]. Проведенные исследования показали перспективность подхода. В данной работе рассмотрена возможность применения методики, описанной Прудским, для прогнозирования индекса МосБиржи, фактически являющегося композитным показателем динамики российского фондового рынка, и проведено сравнение эффективности использования процессов с долговременной памятью и классического ARIMA-моделирования. Таким образом, рассмотрено приложение математических методов к решению задачи прогнозирования в экономике.

Гипотеза заключается в том, что если случайный процесс обладает долгой памятью, учет этой особенности позволяет повысить точность прогноза генерируемых им значений. Попытаемся подтвердить это утверждение на практике, для чего возьмем временной ряд и будем его прогнозировать как посредством ARFIMA-моделирования, так и с помощью стандартной интегрированной авторегрессии – скользящего среднего, а затем сравним результаты.

**ARIMA.** При моделировании будем придерживаться следующих шагов:

1) Привести временной ряд к стационарности путем взятия разностей нужного порядка. Выявлять стационарность будем с помощью расширенного теста Дики–Фуллера (ADF).

Стационарность случайного процесса является важным свойством, необходимым при ARIMA-моделировании. Обычно используется определение слабой стационарности, гласящее: процесс стационарен, если его математическое ожидание, дисперсия и ковариационная функция не зависят от времени.

2) Выполнить идентификацию процесса ARMA(p, q), рассмотрев несколько моделей различных порядков и выбрав модель с минимальным значением информационного критерия Шварца (BIC).

3) Выбрать обучающую и тестовую выборки, обучить ARMA-модель (оценить коэффициенты при лаговых переменных). В остатках модели не должно быть автокорреляции, для проверки этого будем использовать тест Льюнга-Бокса.

4) Оценить качество прогноза полученной модели. Общеупотребимым показателем является средняя абсолютная ошибка в процентах (MAPE), ее и будем использовать. Следует отметить, что MAPE будем рассчитывать по исходному ряду, для чего понадобится восстановить его по предсказанному ряду разностей.

Применим подход, типичный для машинного обучения, и будем рассчитывать показатели модели (BIC, MAPE) при кросс-валидации. Суть данного подхода в том, что будет обучено множество моделей на различных обучающих выборках фиксированного размера, равномерно покрывающих весь анализируемый ряд, для каждой из моделей будут рассчитаны показатели, и итоговая величина каждого из показателей будет взята как среднее арифметическое значений всех моделей. Такой метод позволит оценить способность модели давать адекватные прогнозы не только на каком-то сегменте, а на протяжении всего ряда данных, в том числе предсказывать его будущие значения.

**ARFIMA.** При моделировании процессов с долгой памятью методика будет отличаться.



1) Выполнить тест на наличие во временном ряду долгой памяти. Для этой цели применим R/S-анализ, в процессе которого вычислим показатель Херста по алгоритму, описанному в работе [4].

Показатель Херста может принимать значения в диапазоне [0; 1], интерпретируемые следующим образом: при  $H \in [0,5; 1]$  случайный процесс является персистентным, при этом следующие друг за другом приращения процесса имеют тенденцию сохранять знак; при  $H \in [0; 0,5]$  процесс является антиперсистентным, т.е. постоянно меняющим знак приращений; при  $H = 0,5$  процесс соответствует «белому шуму», то есть является случайным с нулевым математическим ожиданием.

В соответствии с описанной в работе [1] методикой анализировать будем преобразованные данные: возьмем логарифмические доходности индекса по формуле  $\ln(y_i / y_{i-1})$ , а затем устраним автокорреляцию путем взятия AR(1)-разностей, то есть вычисления остатков авторегрессии первого порядка.

2) Вычислить порядок дробной интегрированности ряда (параметр  $d$  модели) по формуле  $d = H - 0,5$  и вычислить дробные разности исходного ряда, что достигается разложением значений в ряды Тейлора. Пусть  $X(t)$  – исходный ряд,  $Y(t)$  – ряд, дробно дифференцированный по степени  $d$ . Тогда члены ряда  $Y(t)$  вычисляются следующим образом:

$$y_1 = x_1, \quad y_2 = x_2 - dx_1, \quad y_3 = x_3 - dx_2 - \frac{d(1-d)}{2!}x_1, \quad \text{и т.д.}$$

Следующие шаги аналогичны таковым при ARIMA-моделировании (определение порядков  $p, q$  процесса ARMA и т.д.).

Входными данными для анализа послужили исторические среднесуточные значения (средние арифметические величин OPEN, HIGH, LOW, CLOSE) индекса МосБиржи (код MICEXINDEXCF). Их количество составило 3811 за период с 28.11.2002 по 01.03.2018. Был охвачен не весь период публикации индекса по той причине, что до ноября 2002 г. биржа публиковала только значения индекса на момент закрытия торгов (CLOSE).

Все вычисления в ходе работы были осуществлены на языке программирования R 3.4.3 с использованием как готовых функций, так и собственноручно реализованных алгоритмов.

Обучающая выборка была ограничена 40 значениями как в работе [2], шаг скольжения выборки по ряду принят в размере 10. Среди множества моделей, полученных при кросс-валидации, были отобраны только те, гипотеза о некоррелированности остатков которых не отклоняется на уровне значимости 5%. Так как современные методики не в состоянии делать точные долгосрочные прогнозы цен финансовых инструментов, горизонт прогнозирования индекса (размер тестовой выборки) составил 3 значения.

Характеристики построенных моделей приведены в таблице 1.

**Таблица 1. Показатели построенных моделей**

Класс модели	Порядок интегрированности процесса, $d$	Порядки AR, MA	MAPE
ARIMA	1	0, 1	1,065%
ARFIMA	0,0403122	1, 1	1,79%

Средняя ошибка прогнозирования модели ARIMA(0, 1, 1) составила 1,065%, то есть отклонение от фактического значения индекса составило в среднем чуть более 1%. Эта величина кажется небольшой, однако индекс не обладает высокой волатильностью и не склонен существенно меняться за день, средний темп суточного изменения составляет всего 1,08%. Поэтому полученную точность прогноза можно охарактеризовать как низкую.

Рассчитанное по логарифмическим доходностям значение  $H$  составило 0,5403122. Так как  $H$  попадает в диапазон (0,5; 1), можно сделать вывод о персистентности ряда, хотя процесс и оказался очень близок к случайному блужданию ( $H = 0,5$ ). Показатель MAPE модели ARFIMA составил 1,79%, что больше, нежели ошибка ARIMA.

В результате проведенного исследования выяснилось, что предложенная в работе [2] методика прогнозирования финансовых временных рядов на основе моделирования процессов с долгой памятью плохо подходит для предсказания фондового индекса, так как дает прогнозы более низкой точности, чем модель, не учитывающая этого свойства. Во всяком случае, усредненная универсальная модель, протестированная на всем временном ряду, не смогла составить конкуренцию ARIMA. Не исключено, что существуют участки, на которых ARFIMA дает более точные прогнозы. Также нужно отметить, что были использованы простые, классические методы (например, оригинальный R/S-анализ для выявления долгой памяти). Возможно, что использованная методика несовершенна, и индекс МосБиржи персистентностью в действительности не обладает. Применение фрактальной теории к анализу временных рядов в настоящее время активно развивается, и существуют более новые, усовершенствованные методы, такие как мультифрактальные модели, вследствие чего данная область остается перспективной.

### Библиографический список

1. *Прудский М.В.* Фрактальный анализ финансовых рынков // Информационные системы и математические методы в экономике. – 2012. – №5. [Электронный ресурс]. – URL: <http://ismme.esrae.ru/pdf/2012/5/331.pdf> (дата обращения: 01.03.2018).
2. *Остапенко Е.С.* Прогнозирование временных рядов с долговременной памятью с помощью моделей класса ARFIMA / Е.С. Остапенко, Т.А. Дунаева // Економічний вісник НТУУ «КПІ»: збірник наукових праць. – 2010. – № 7. – с. 270–273.
3. *Балагула Ю.* Фрактальные характеристики длинной памяти в ценах на электроэнергию – Европейский университет в Санкт-Петербурге, Факультет экономики. Препринт Ес-03/16, 13 с.
4. *Зиненко А.В.* R/S анализ на фондовом рынке // Бизнес-информатика, 2012. №3 (21). С. 24–30. [Электронный ресурс]. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/r-s-analiz-na-fondovom-rynke> (дата обращения: 01.03.2018).

## STOCK EXCHANGE INDEX FORECASTING USING LONG MEMORY MODELS

*Garafutdinov Robert V.*

National Research University Higher School of Economics, 38, Studencheskaya st., Perm, 614070, Russia, [rvgarafutdinov@edu.hse.ru](mailto:rvgarafutdinov@edu.hse.ru)

**Abstract.** The urgency of the problem of predicting the dynamics of stock markets is substantiated. Some modern approaches to forecasting financial time series are considered. Such properties of random processes as long memory (persistence), stationarity are described. Methods for constructing and evaluating the quality of ARIMA stochastic models and long-memory models ARFIMA are outlined. The interpretation of the Hurst index is given. The considered models are trained and tested on series of historical values of the stock index. The application of cross-validation as an approach increasing the objectivity and accuracy of forecasting is substantiated. Negative results were obtained, which testify to the shortcomings of the methods used, and suggestions were made as to the reasons for such results.

**Keywords:** time series forecasting, long-memory, ARIMA, ARFIMA, Hurst index, cross-validation.

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НЕЙРОСЕТЕВОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРЕДОБРАБОТКИ ДАННЫХ

*Гильманов Артур Ринатович, Окунев Александр Анатольевич*

Пермский Государственный Национальный Исследовательский Университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, arturinhog@yandex.ru

В статье описывается метод функциональной предобработки статистических данных для улучшения прогноза, получаемого с помощью нейронных сетей. Рассматривается достаточно широкий набор функций, который может быть использован для предобработки статистических данных. Показано преимущество нейронных сетей, решающих задачу прогноза, с использованием предобработки данных, в смысле устойчивости прогноза. Ошибка прогноза рассматривается как случайная величина для которой вычисляются статистические оценки математического ожидания и стандартного отклонения, а также вычисляется выборочный коэффициент вариации для определения наиболее устойчивой модели прогноза.

Ключевые слова: функциональная предобработка, прогноз, устойчивость нейросетевой модели, коэффициент вариации.

В настоящее время различные прикладные задачи решаются при помощи прогнозирования многомерных временных рядов. Такие задачи могут возникать в различных сферах, например, в экономике, медицине, промышленности и т.д. Для решения подобных задач активно разрабатываются методы, использующие нейронные сети [1], [2], [3], [4].

Для повышения качества прогнозирования, исследователи могут применять различные методы предобработки данных: вычислять на основе нескольких значений одно, находить значения функций от показателей наблюдений и т. д. В работе [4] авторы логарифмировали все значения из набора данных для уменьшения влияния шумовой компоненты временного ряда, выделения тренда, уменьшения области значений величин.

Корреляция между определяющими и прогнозируемым показателем тесно связана с качеством прогнозирования в регрессионных моделях. При отборе наиболее значимых определяющих показателей исследователи ориентируются на их коэффициенты корреляции с прогнозируемыми показателями. Следовательно, можно предположить, что определенная предобработка данных может привести к увеличению коэффициентов корреляции между определяющими и прогнозируемым показателем, что в результате может способствовать повышению качества прогнозирования. Подобный подход имеет смысл, т.к. данные зашумлены и их недостаточно для построения точной модели прогноза при помощи стандартных способов.

Рассмотрим предобработку данных, увеличивающую коэффициенты корреляции. Множество наблюдений делится на обучающее и тестирующее, на обучающем выполняется поиск оптимального способа предобработки.

Авторы для преобразований использовали следующие функции:  $x$  в степени  $\alpha$ ,  $\ln(ax)$ ,  $\sin(ax)$ ,  $\cos(ax)$ ,  $\text{sh}(ax)$ ,  $\text{ch}(ax)$ ,  $\text{tg}(ax)$ ,  $\text{th}(ax)$ ,  $\arcsin(ax)$ ,  $\arccos(ax)$ ,  $\text{arcsh}(ax)$ ,  $\text{arcch}(ax)$ ,  $\text{arctg}(ax)$ ,  $\text{arth}(ax)$ , сигмоидная функция,  $e$  в степени  $ax$ . При этом  $\alpha$  принадлежит заранее известному интервалу.

Далее на каждой итерации алгоритма выполняются следующие шаги:

Вычисляется начальная корреляция каждого из определяющих показателей  $X_i$  с прогнозируемым показателем  $Y$ .

Значения показателей при помощи нормировки приводятся к интервалу [2; 102].

Для каждого определяющего показателя вычисляются значения функций из заранее заданного множества  $\{F_m(\alpha, x)\}$  с параметром  $\alpha$ , где  $\alpha$  принимает значения из заранее известного интервала с шагом 0,01.

Для каждой функции  $F_m(\alpha, X_i)$  находится коэффициент корреляции с показателем  $Y$ .

Определяются  $F_m$  и  $\alpha$  с наибольшим коэффициентом корреляции по отношению к  $Y$ .

Выполняется сравнение наибольшего коэффициента корреляции для показателя с наибольшим коэффициентом корреляции на предыдущей итерации алгоритма. Если коэффициент не увеличился значительно, то показатель исключается из дальнейшего рассмотрения в плане предобработки.

Когда последовательности функций построены для всех определяющих показателей, эти последовательности функций применяются к соответствующим им показателям на тестирующем множестве. Затем строится модель прогноза.

Для проверки корректности метода предобработки данных из статистического справочника [5] был случайным образом выбран показатель «Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм». В справочнике содержатся 5 показателей качества среды обитания и 12 (выбрано 4) показателей качества медицинского обслуживания. Все показатели анализировались за 10 лет (2005-2014 годы) по 77 территориям. Задача заключалась в том, чтобы по показателям качества среды обитания и качества медицинского обслуживания предыдущего года спрогнозировать показатель заболеваемости следующего года. После сдвига данных с лагом в один год оказалось, что нейросетевую модель прогноза можно построить по 8 годам (временным периодам) и проверить её качество по 2014 году. Таким образом, для обучения нейронной сети были в распоряжении 616 наблюдений.

Определим, что под ошибкой прогноза будем подразумевать среднюю ошибку по территориям. А под ошибкой прогноза по территории будем подразумевать модуль разности между прогнозным и фактическим показателями заболеваемости по территории, разделенный на размах показателя заболеваемости и умноженный на 100%.

Обучающее и тестирующее множества наблюдений были предобработаны представленным способом. Далее на нем была обучена многослойная нейронная сеть прямого распространения (многослойный персептрон) с простой структурой (9 нейронов на входном слое, 2 нейрона на скрытом слое, 1 нейрон на выходном слое), алгоритм обучения – упругое распространение, активационные функции – гиперболический тангенс. Нейросетевые модели были построены в программе «Нейросимулятор 5.0» [6].

В результате на тестирующем множестве без предобработки ошибка прогноза в лучшем случае составила 4,4% с довольно большим общим разбросом значений приблизительно равным 1%. В результате предобработки ошибка на тестирующем множестве снизилась до 3%, причем разброс значений ошибки нейросети в этом случае был менее 0,1%.

Данный подход позволяет уменьшить ошибку прогнозирования при условии недостаточности и зашумленности данных и повышает устойчивость решений.

### Библиографический список

1. *Ruta D., Gabrys B.* Neural Network Ensembles for Time Series Prediction // Neural Networks, 2007. IJCNN 2007. International Joint Conference on. 2007. pp. 1204-1209.
2. *Collotta M., Pau G.* An Innovative Approach for Forecasting of Energy Requirements to Improve a Smart Home Management System Based on BLE // IEEE Transactions on Green Communications and Networking, 2017. pp. 112-120.
3. *Nguyen, H.H., Chan, C.W.* Multiple neural networks for a long term time series forecast // Neural Computing & Applications, Vol. 13, No. 1, 2004. pp. 90-98.
4. *Abdoli A.M., Nezhad M.F., Sede R.S., Behboudian S.* Longterm forecasting of solid waste generation by the artificial neural networks // Environmental Progress & Sustainable Energy, Vol. 31, No. 4, 2012. pp. 68-636.
5. Регионы России. Социально-экономические показатели 2015. Статистический сборник. Росстат, 2015.
6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014618208. Заявка Роспатент № 2014614649. Нейросимулятор 5.0. / Ф.М. Черепанов, Л.Н. Ясницкий // Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12.08.2014.

### PREPROCESSING OF STATISTICAL DATA TO IMPROVE THE QUALITY OF THE FORECAST BY A NEURAL NETWORK

*Gilmanov Artur R., Okunev Aleksandr A.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, arturinhog@yandex.ru

The article describes the method of functional preprocessing of statistical data to improve the forecast obtained with the help of neural networks. We consider a fairly wide range of functions that can be used to pre-process statistical data. The advantage of neural networks for forecasting using data preprocessing is shown, in terms of forecast stability. The forecast error is considered as a random variable for which statistical estimates for the mathematical expectation and for the standard deviation are calculated, and a selective coefficient of variation is calculated to determine the most stable forecast model.

Key words: functional preprocessing, forecast, stability of the neural network model, coefficient of variation.

## ДВУХЭТАПНОЕ ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ МИНИМАЛЬНОГО ВЕСА

*Ильиных Михаил Сергеевич, Бояршинова Ирина Николаевна*

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614000, Россия,  
г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, IlinihM@mail.ru

Сегодня оптимальное проектирование конструкций является одной из приоритетных задач при разработке и производстве новейших конкурентоспособных изделий. В работе предлагается комбинированная методика оптимального проектирования конструкций минимального веса, включающая в себя два шага оптимизации: топологический и параметрический. На начальном этапе при помощи топологической оптимизации определяются основные пути к снижению веса изделия. Во время следующего этапа, параметрической оптимизации, находятся оптимальные геометрические параметры конструкции минимального веса, удовлетворяющей условиям прочности. Разработанная методика позволяет использовать достоинства указанных подходов, исключив при этом недостатки каждого из них. Для иллюстрации применения предлагаемой методики рассмотрена модельная задача оптимального проектирования детали с целью снижения веса. Реализация алгоритмов проводилась при помощи пакетов Solidthinking inspire, ANSYS и специально разработанной программы, реализующей метод Нелдера-Мида. Полученные результаты показывают эффективность разработанной методики.

Ключевые слова: оптимальное проектирование, минимизация веса, топологическая оптимизация, параметрическая оптимизация.

### Постановка задачи

Целью топологической оптимизации выступает получение конструкции минимальной податливости при заданном весе, поэтому в качестве целевой функции в задаче топологической оптимизации выступает функция податливости:

$$J(f, V, u) \rightarrow \min \quad (1)$$

где  $f$  – вектор приложенных сил,  $V$  – объем тела,  $u$  – вектор перемещений.

Параметрами оптимизации являются:  $V_i, x_i$ , где,  $V_i$  – частичный объем  $i$ -го элемента,  $x_i$  – весовой коэффициент, характеризующий наличие материала в конечном элементе.

В качестве условий задачи оптимизации используются ограничения на объем (при равномерном распределении массы по элементам):

$$V^* = \sum_{i=0}^N V_i x_i \quad (2)$$

При этом напряженно-деформированное состояние (НДС) изделия должно удовлетворять уравнениям прямой задачи теории упругости: уравнениям равновесия (3), физическим соотношениям (4), геометрическим соотношениям (5):

$$\operatorname{div} \sigma(x) = 0, \quad x \in V, \quad (3)$$

$$\sigma = \tilde{c} \cdot \varepsilon, \quad x \in V \quad (4)$$

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «ПНИПУ» при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор №02.G25.31.0168 от 01.12.2015 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

© Ильиных М.С., Бояршинова И.Н. 2018

$$\varepsilon = \frac{1}{2}(\nabla u + u\nabla), x \in V, \quad (5)$$

а так же граничным условиям (6) – (8):

$$\sigma \cdot n = 0, x \in S, \quad (6)$$

$$u(x) = 0, x \in S_u, \quad (7)$$

$$\sigma \cdot n = P, x \in S_f. \quad (8)$$

В математической постановке задачи параметрической оптимизации целью оптимизации является минимизация веса изделия:

$$\rho \int dV(r_i) \rightarrow \min, i = \overline{1, n}, \quad (9)$$

где  $\rho$  – плотность материала.

Параметрами оптимизации выступают геометрические размеры изделия:  $r_i, i = \overline{1, n}$ , где  $n$  – число параметров оптимизации.

Ограничения накладываются на параметры оптимизации:

$$r_i^{\min} \leq r_i \leq r_i^{\max}, \quad (10)$$

на прочность:

$$\sigma_i \leq \sigma^*. \quad (11)$$

Кроме того, НДС конструкции должно удовлетворять уравнениям прямой задачи теории упругости (3) – (8).

Методика и анализ решения модельной задачи

Предлагаемая методика решения включает два этапа. В качестве предварительного этапа предлагается использование топологической оптимизации.

После завершения первого шага получена конструкция с заданным весом 51%, показанная на Рис. 1. При расчете НДС превышения допустимых напряжений нет (Рис. 2). Затем выбраны параметры для второго этапа оптимизации, представленные на Рис. 3.

Параметрическая оптимизация проводилась методом Нелдера-Мида, для чего была составлена специальная компьютерная программа.

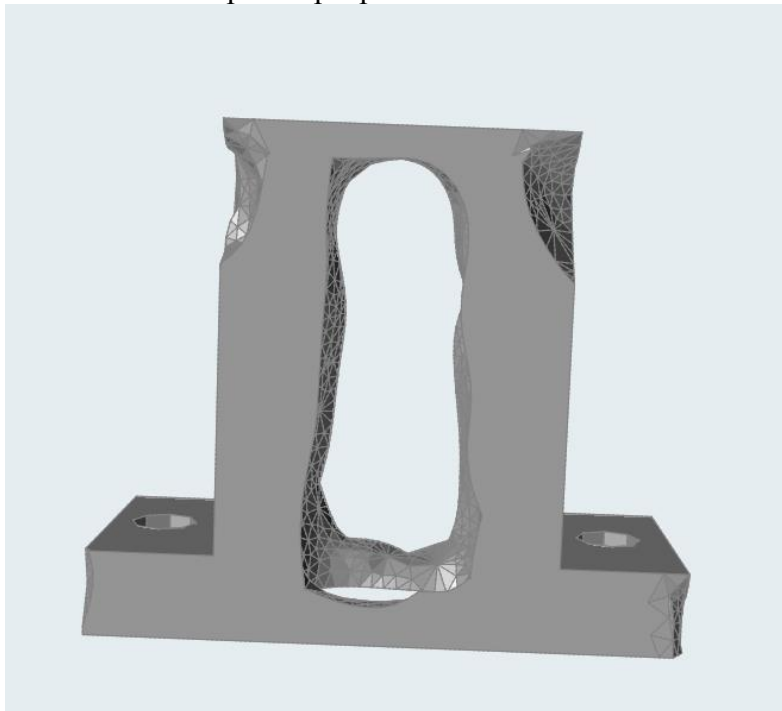


Рис. 1: Конструкция после завершения первого шага

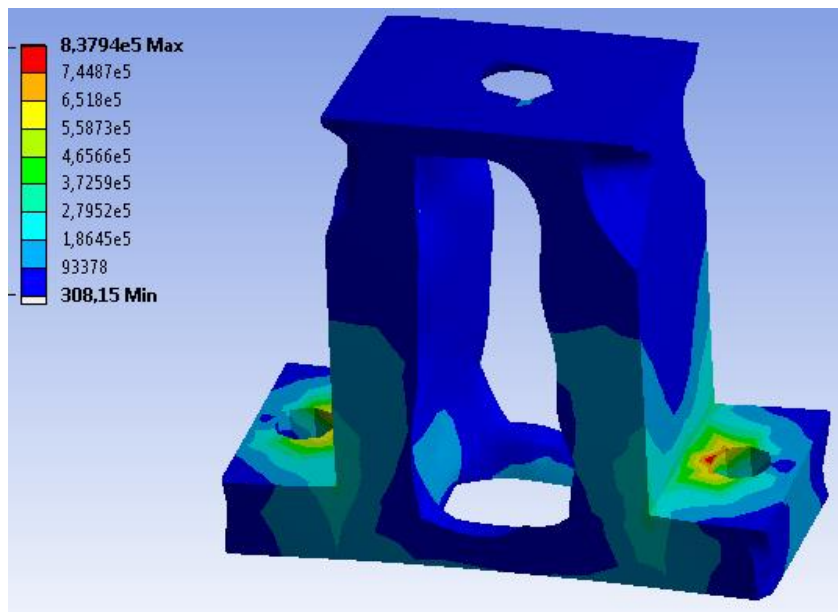


Рис. 2: НДС конструкции

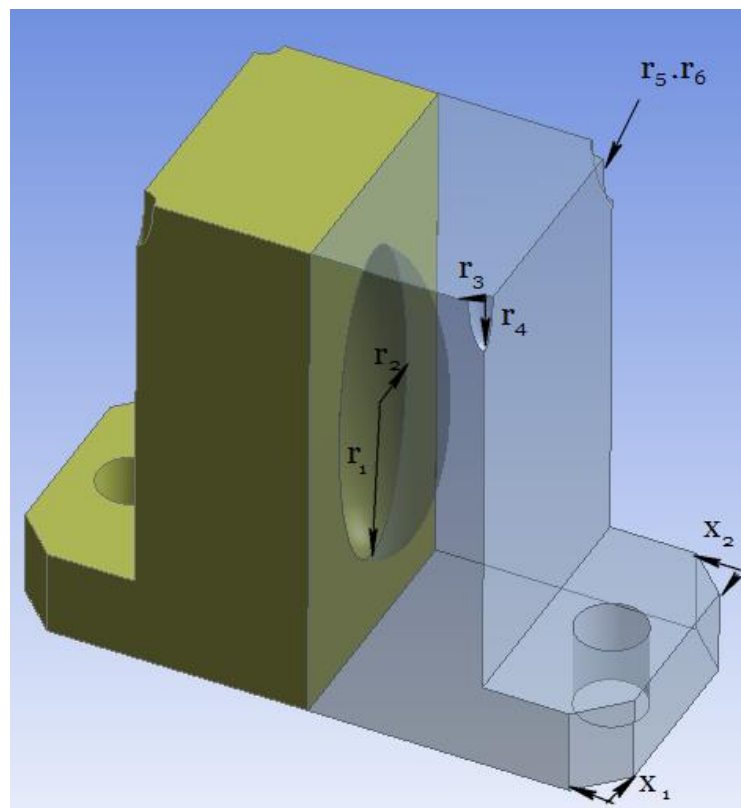
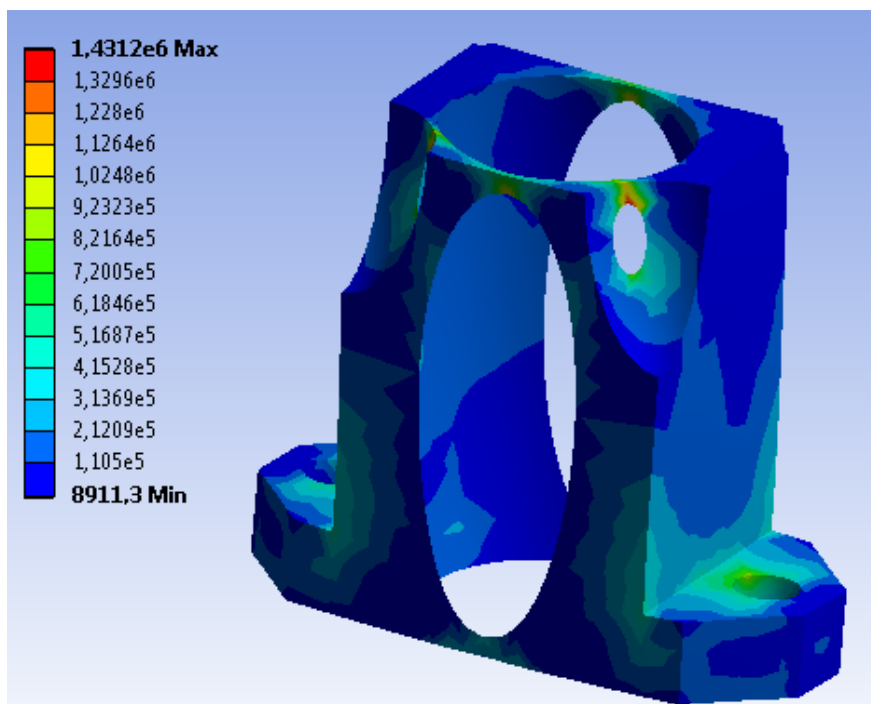


Рис. 3: Параметры оптимизации





**Рис. 4: Конечный результат**

Конструкция после оптимизации (Рис. 4.) имеет вес 27,5% от веса начальной заготовки. Максимальные напряжения в теле после топологической и последующей параметрической оптимизации лежат в допустимых пределах.

#### **Библиографический список**

1. *Атапин В.Г.* Методы оптимизации в проектировании конструкций / В. Г. Атапин – учебное пособие, Новосибирск: Новосиб. гос. техн. ун-т, 1999.
2. *Бояршинова И.Н.* Применение методов оптимизации для определения характеристик термомеханического поведения стеклующихся полимеров// Вестник ПНИПУ – Механика, 2012. – №1. – С.7-15.
3. *И. Н. Бояршинова* Применение методов оптимизации к численному анализу температурных полей заготовок кварцевого оптического волокна // Вестник ПНИПУ Механика, 2013. – №1. – С. 39 – 51.
4. *M.G. Boyarshinov, I.N. Boyarshinova.* Optimal control of vitrifying polymers cooling process targeted at residual stresses decrease. Solid State Phenomena. Problems of Deformation and Fracture in Materials and Structures, Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, 2016. – Vol. 243. – P. 23 – 28.
5. Решение задач по оптимизации строительных конструкций / В. Н. Аликин [и др.]. – Москва: Недра, 2009.
6. *Сысоева В.В., Чедрик В.В.* Алгоритмы оптимизации топологии силовых конструкций / В. В. Сысоева, В. В. Чедрик – Ученые записки ЦАГИ, 2011.
7. *Bunday B.D.* Basic Optimization Methods. – Hodder Arnold, 1984.

## TWO-STAGE OPTIMUM DESIGN OF MINIMUM WEIGHT CONSTRUCTIONS

*Ilinih Mikhail S., Boyarshinova Irina N.*

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614000,  
IlinihM@mail.ru

Today, optimal design of structures is one of the priority tasks in the development and production of the newest competitive products. The paper proposes a combined method for optimal design of minimum weight structures, consisting of the consequent application of two approaches: topology optimization and parametric optimization. At the initial stage, with the help of topology optimization, the direction of movement to reduce the weight of the product is determined. At the stage of parametric optimization, the optimal geometric parameters of the construction of the minimum weight are determined, while observing the strength conditions. The developed methodology allows using the advantages of these approaches, while eliminating the shortcomings of each of them. To illustrate the application of the proposed methodology, a model problem of the optimal design of a part for the purpose of weight reduction is considered. The solution of the problem was carried out with the help of packages Solidthinking inspire, ANSYS and specially developed program implementing the method of Nelder-Meade. The obtained results show the effectiveness of the developed technique

Keywords: optimal design, weight minimization, topology optimization, parametric optimization.

## **АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ВНУТРЕННЕЙ МИГРАЦИИ МЕЖДУ ФЕДЕРАЛЬНЫМИ ОКРУГАМИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*Иммис Максим Вадимович*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, immismaksim@ya.ru

В настоящей работе автором предложен метод сбора и обработки информации о миграционных процессах между федеральными округами Российской Федерации и представлен первичный анализ процессов миграции. Для исследования был использован открытый источник данных - сайт Федеральной службы государственной статистики. Данные были представлены в виде разрозненных таблиц. В процессе исследования они были реорганизованы в новые таблицы, обработаны и данные из этих таблиц были визуализированы. Для визуализации были выбраны графики. Для построения графиков использовались встроенные средства работы с графиками программы MS Excel. Исследуемый период с 2009 по 2016 год. В результате работы была получена таблица, описывающая тренды миграции по федеральным округам Российской Федерации за исследуемый период.

Ключевые слова: миграционные процессы, интеллектуальный анализ данных, Федеральная служба государственной статистики.

С древних времен люди меняли места своего пребывания, чтобы найти для себя лучшей жизни. Переезжая в другую местность, человек начинает влиять на ее развитие, изменять ее структуру, экономику, демографическую ситуацию. Например, Центральный федеральный округ с начала XXI века имеет отрицательный естественный прирост. Это означает, что рождается меньше, чем умирает. Но за счет увеличения потока мигрантов после распада СССР из других федеральных округов страны численность населения региона только возрастает [1]. Происходит замещение мигрантами «коренного» населения округа.

Миграция играет важную роль в формировании структуры населения, трудовых ресурсов, социально-экономическом развитии региона и страны в целом. Отсюда вытекает важность изучения данного процесса и методов управления им, поэтому данная работа актуальна.

Целью данной работы является сбор, обработка и первичный анализ информации о процессах внутренней миграции между федеральными округами Российской Федерации.

Под миграцией населения следует понимать территориальную подвижность населения, связанную с его перемещением по территории страны или между государствами, обусловленную влиянием разнообразных условий и факторов: социально-экономических, военно-политических, религиозных, природных, экологических. Различают внешние (межгосударственные) и внутренние (внутри страны – между регионами, городами, сельской местностью и т.п.) миграции [2]. В данной работе рассматриваются внутренние миграции между федеральными округами Российской Федерации.

Для работы использовался открытый источник данных - сайт Федеральной службы государственной статистики [4].

Исходные данные были представлены в виде разрозненных таблиц с сайта Федеральной службы государственной статистики.

Полученные данные были реорганизованы в новые таблицы для дальнейшего удобства обработки.

В данной работе было решено исследовать миграционные процессы между федеральными округами Российской Федерации. Исследуемый период с 2009 по 2016 год. Такой период был выбран в силу того, что до 2009 года в РФ было 7 федеральных округов. В 2009 году Северо-Кавказский федеральный округ был выделен из состава Южного федерального округа и общее число округов увеличилось до 8. В 2014 году был образован Крымский федеральный округ на присоединенных к России территориях, но в 2016 году Крымский ФО вошел в состав Южного ФО.

Исследование проводилось по нескольким направлениям движения миграционных потоков. А именно из сельской местности одного федерального округа в сельскую местность другого федерального округа, из села одного ФО в город другого, из города в село и из города в город другого федерального округа. Такой подход к потокам миграции позволит в будущем составить более широкую картину ситуации и провести более глубокий анализ.

После получения всей необходимой информации, был начат анализ исходных данных: построены новые таблицы, содержащие исходную информацию в более компактном и наиболее подходящем для анализа виде, и графики по этим таблицам. Пример графика приведен на Рис.1. Каждая ячейка новой таблицы представляет собой сумму количества мигрантов, прибывших в данную местность федерального округа из других округов в расчете на 10 тыс. местного населения.

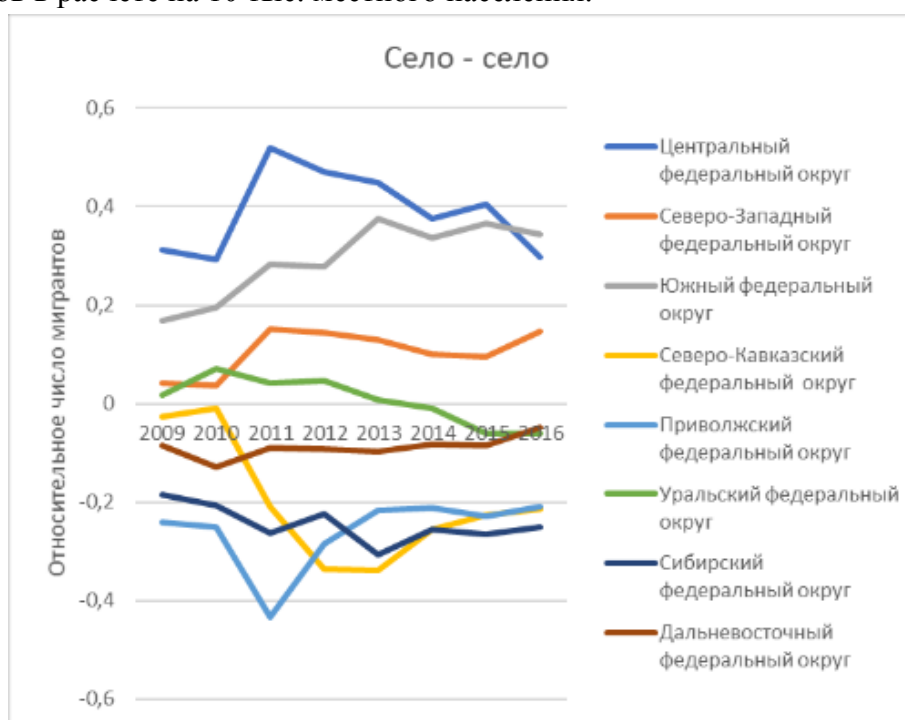


Рис. График "Село - Село"

Проведенный анализ графиков был представлен в виде таблицы 1, где “+” – наблюдается рост потока миграции на всем исследуемом периоде, “-” – наблюдается спад потока миграции на всем периоде, “0” – резких перемен за исследуемый период не произошло. Комбинации символов отражают перемены в миграционном потоке на исследуемом периоде. Например, “+,-” показывает, что в начале периода наблюдался рост мигрантов, затем произошел спад потока.

**Таблица 1. Результаты анализа миграционных потоков по типу местности**

Тип местности Фед.Округ	Село – село	Село – город	Город - село	Город – город
ЦФО	+,-	+	-	+,-
СЗФО	0	+	0	+
ЮФО	+	-	+	+
СКФО	-	-	+	0
ПФО	+	-	+	-
УФО	-	+,-	-	0
СФО	-	0	0	-
ДФО	0	+	0	-,+

Подводя итоги, можно заключить, что лидерами по привлекательности для миграции являются три федеральных округа: Центральный, Северо-Западный и Южный. В остальных округах наблюдаются отрицательные показатели миграционных потоков. Так же можно заключить, что в Южном, Северо-Кавказском и Приволжском федеральных округах села являются более привлекательным для миграции, чем города. Это, в свою очередь, опровергает бытующее мнение о привлекательности только городов для мигрантов.

Для дальнейшей работы по анализу миграционных процессов между федеральными округами Российской Федерации необходимо выделить факторы, влияющие на привлекательность региона для миграции. В ходе анализа литературы [3] и рассуждений было решено все показатели федеральных округов разбить на следующие девять групп:

1. Уровень доходов
2. Жилищные условия
3. Уровень здравоохранения
4. Уровень образования
5. Экологические условия
6. Безопасность
7. Демографическая ситуация
8. Транспортная инфраструктура
9. Уровень экономического развития.

Например, в группу «Уровень доходов» можно отнести такие показатели как средняя заработная плата по округу, доля населения с доходами ниже прожиточного минимума, объем вкладов физических лиц в банках. Каждая группа будет представлена одним коэффициентом, агрегирующим показатели факторов, входящих в нее.

При проведении дальнейших исследований показатели и группы будут корректироваться в соответствии с их влиянием на привлекательность федерального округа для миграции населения.

В результате исследования был изучен материал о миграционных процессах в Российской Федерации, собрана, обработана и визуализирована необходимая информация о миграции, проведен первичный анализ.

Перспективы развития данной работы заключаются в проведении полного обзора и классификации факторов, нахождение зависимости привлекательности Федерального округа для миграции от показателей региона и подробный анализ полученных зависимостей.

### **Библиографический список**

1. Миграционная ситуация в РФ - Википедия [В Интернете] // Wikipedia. - Wikimedia Foundation, Inc., 2017 г.. - Ноябрь 2017 г.. - [https://ru.wikipedia.org/wiki/Миграционная\\_ситуация\\_в\\_РФ](https://ru.wikipedia.org/wiki/Миграционная_ситуация_в_РФ).
2. Миграция населения - Википедия [В Интернете] // Wikipedia. - Wikimedia Foundation, Inc., 2017 г.. - Октябрь 2017 г.. - [https://ru.wikipedia.org/wiki/Миграция\\_Населения](https://ru.wikipedia.org/wiki/Миграция_Населения).
3. Рейтинг качества жизни в регионах РФ [Документ]. - [б.м.] : РИА РЕЙТИНГ .
4. Федеральная служба государственной статистики [В Интернете] / авт. Федеральная служба государственной статистики // Федеральная служба государственной статистики. - Октябрь 2017 г.. - [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/).

### **ANALYSIS OF INTERNAL MIGRATION PROCESSES BETWEEN THE FEDERAL DISTRICTS OF THE RUSSIAN FEDERATION**

*Immism Maksim V.*

Perm State University, st. Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990, immismaksim@ya.ru

In this paper, the author suggests a method for collecting and processing information on migration processes within the Russian Federation and presents a primary analysis of migration processes. An open source of data was used, the site of the Federal State Statistics Service. The data were presented in the form of tables. During the research they were reorganized, processed and data from these tables were visualized. The study period is from 2009 to 2016. As a result of the work, a table was obtained that describes migration trends in the federal districts of the Russian Federation for the period under study.

Keywords: migration processes, data mining, the Federal state statistics service.

## БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ КОНТАКТ ЗУБНОЙ ПАРЫ

*Каменских Анна Александровна, Крецу Кристина Сергеевна*

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614000, Россия,  
г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, anna\_kamenskih@mail.ru

В рамках работы выполнено численное моделирование контактного взаимодействия двух зубов разной геометрической формы (резец, премоляр) через трехслойную протетическую конструкцию. Материал зубов и прослойка А-силикона рассматриваются как упругие, поведение основного материала каппы Eva описывается деформационной теорией упругопластичности. Задача реализовывалась в осесимметричной постановке в рамках фрикционного контактного взаимодействия. В рамках численного исследования проанализировано использование трехслойной зубной шины при контактом взаимодействии зубов: поля распределения интенсивности напряжений и деформации, уровни и характер распределения контактного давления и контактного касательного напряжения, площадь контактного взаимодействия и т.д. Установлено, что максимальная интенсивность напряжений наблюдается в премоляре при любом уровне силы индентирования более чем в 1,375 раза, чем при контакте резцов.

Ключевые слова: контакт, упругопластичность, протетическая конструкция, Eva, А-силикон.

В работе рассматривается задача о контактом деформировании пары зубов (резец, премоляр) через трехслойную протетическую конструкцию из этиленвинилацетата (Eva) с прослойкой из А-силикона. Свойства материал зуба  $E = 80,4 \cdot 10^3$  МПа и  $\nu = 0,3$ , свойства А-силикона –  $E = 0,3$  МПа и  $\nu = 0,49$ . В качестве модели поведения Eva выбрана деформационная теория упругопластичности [1] Математическая постановка задачи включает в себя уравнений равновесия, геометрических и физические соотношений, граничные условия на поверхности контакта для всех типов контактного состояния (проскальзывание, сцепление и отлипание) [2]. Математическая постановка также дополняется кинематическими граничными условиями на поверхности  $S_1$ :

$$u_z = 0, \sigma_{r\varphi} = 0, r \in S_1.$$

Поворот поверхности в пространстве  $S_2$  практически исключается, при этом интеграл по поверхности от компоненты силы  $p_z$  равен прикладываемой вертикальной нагрузке. Таким образом, граничные условия на поверхности  $S_2$  имеют вид:

$$\int_{S_2} p_z dS_2 = -F, u_z(r, z_{S_2}) = U = const, r \in S_2,$$

где  $F$  – вертикальная сила, приложенная к  $S_2$ ,  $U$  – неизвестная величина. Остальные наружные поверхности свободны от нагрузок.



Рис. 1. Расчетные схемы: а) контакт двух резцов; б) контакт двух премоляров

Характерные размеры моделей контакта: высота и ширина зуба составляют  $h_{zub}=6$  мм и  $b_{zub}=5,5$  мм; толщина слоя Eva и А-силикона одинаковая и равна  $h_E = h_V = 2$  мм. Сила индентирования изменяется в диапазоне от 10 до 50 Н. Коэффициент трения 0,3.

В рамках численного решения задачи исследовано напряженно-деформированное состояние биомеханического контактного узла: контактное взаимодействие зубов верхнего и нижнего зубного ряда через трехслойную протетическую конструкцию. На рис. 2 показаны поля распределения интенсивности напряжения при индентировании зуба из верхнего зубного ряда постоянной силой 10 Н.

Максимальная интенсивность напряжений наблюдается в зубной эмали вблизи зоны контакта. При этом максимальная интенсивность напряжений для модели контакта двух премоляров более чем в 1,375 раз больше чем при контакте двух резцов для всех вариантов силы индентирования (рис. 3.).

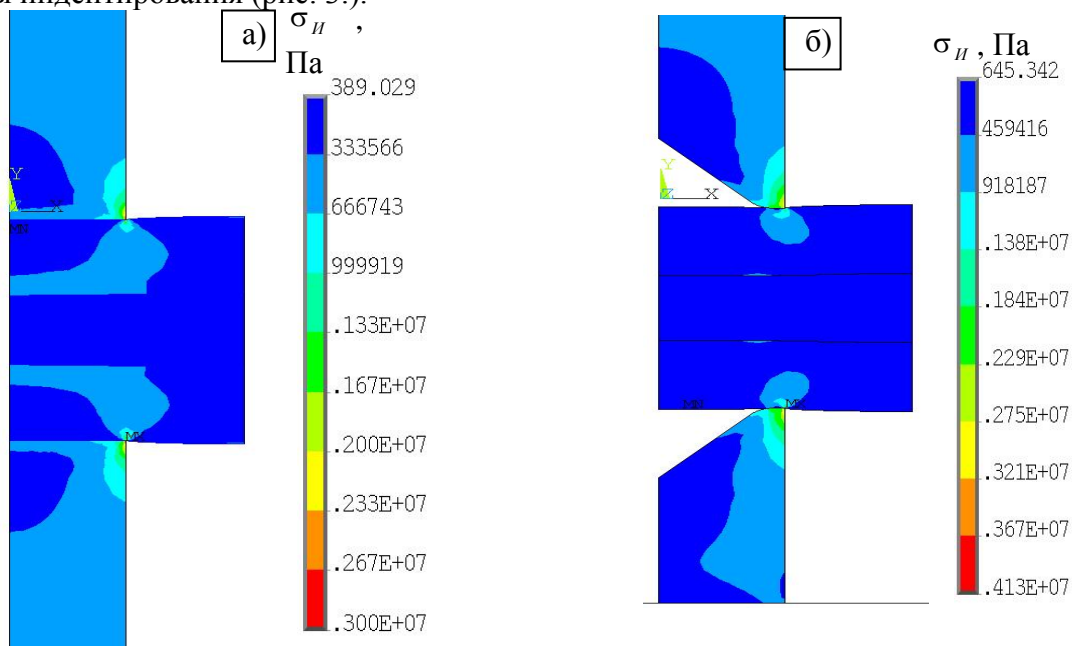
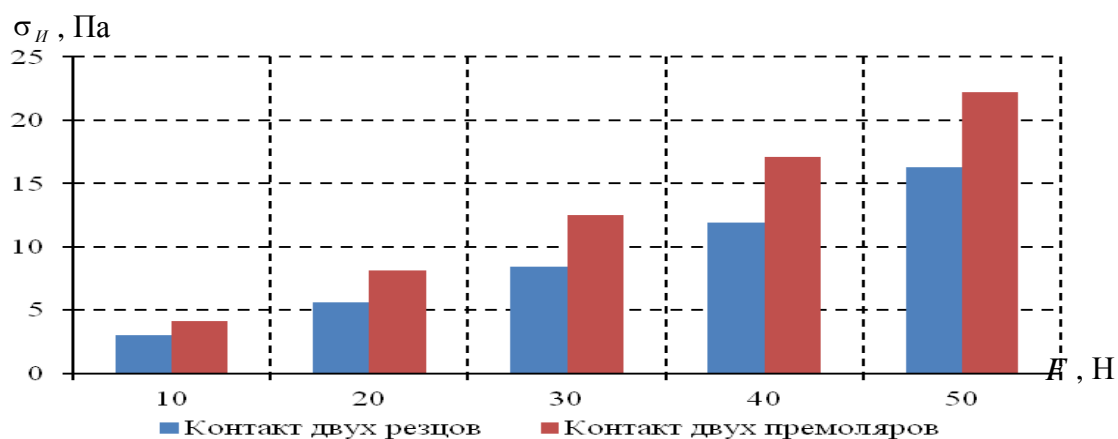


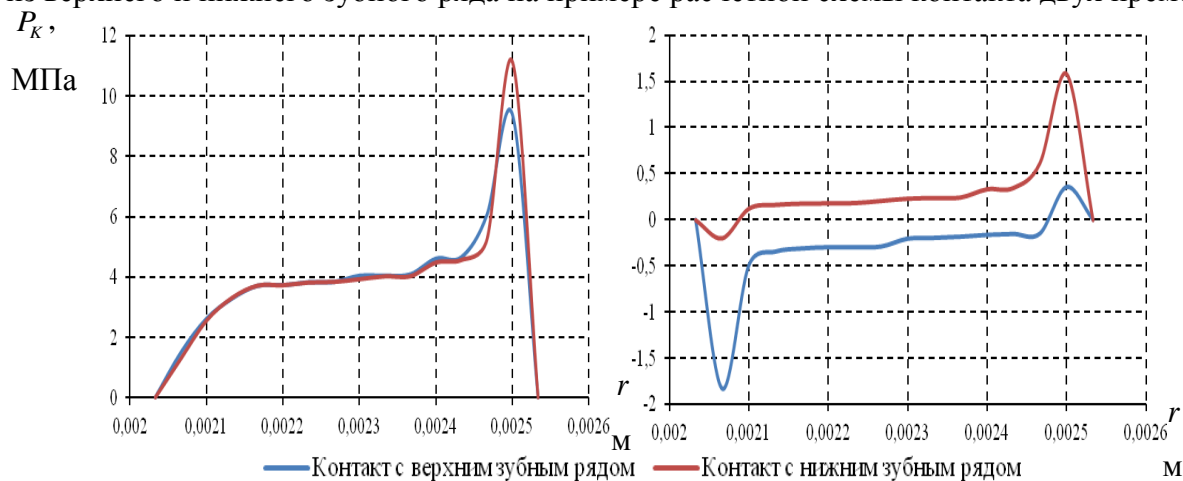
Рис. 2. Интенсивность напряжений: а) контакт двух резцов; б) контакт двух премоляров





**Рис. 3. Зависимость максимальной интенсивности напряжения в зубной эмали от  $F$**

В рамках серии численных экспериментов получены поля распределения параметров зоны контакта для двух вариантов расчетных схем и проанализировано закономерности их изменения при росте силы индентирования. На рис. 4 показаны поля распределения контактного давления и контактного касательного напряжения для границ контакта с зубами из верхнего и нижнего зубного ряда на примере расчетной схемы контакта двух премоляров.



**Рис. 4. Контактные давление (а) и касательные напряжения (б) при  $F=30$  Н**

Из рис. 4 видно, что поля контактных параметров при верхнем и нижнем зубе отличаются, что связано с упругопластическими свойствами основного материала протетической конструкции Eva. Так же установлено увеличение площадки контакта при увеличении силы индентирования для обоих вариантов расчетной модели.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект № 17-48-590411 р\_а.

### Библиографический список

1. Каменских А.А., Лесникова Ю.И. Численное моделирование контакта полупространства из этиленвинилацетата с зубом-индентором // Математическое моделирование в естественных науках. 2017. Т. 1. С. 22-26.
2. Kamenskih A. A., Trufanov N. A. Regularities Interaction of Elements Contact Spherical Unit with the Antifrictional Polymeric Interlayer // Friction and Wear. – 2015. – Т. 36, № 2. – Pp. 170-176.

## THE BIOMECHANICAL CONTACT OF TOOTH PAIR

*Kamenskikh Anna, Krecu Kristina*

Perm National Research Polytechnic University, 614000, Russia, Perm, Komsomolsky Av. 29,  
anna\_kamenskih@mail.ru

Numerical simulation of the contact interaction of two teeth of different geometric shapes (incisor, premolar) through a three-layered mouthguard is performed within the framework of the work. The material of the teeth and the interlayer of A-silicone are considered as elastic, the behavior of the main material of the mouthguard Eva is described by the deformation theory of elastoplasticity. The problem was realized in an axisymmetric formulation within the framework of frictional contact interaction. The use of a three-layer dental mouthguard with contact interaction of teeth is analyzed in the framework of a numerical study: fields of distribution of stress intensity and deformation, the levels and nature of the distribution of contact pressure and contact tangential stress, area of contact interaction and etc. It was found that the maximum stress intensity is observed in the premolar at any level of indentation force more than 1.375 times than when the incisors contact.

Keywords: contact, elastic-plastic, mouthguard, Eva, A-silicone.

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗУБНОЙ ПАРЫ

*Каменских Анна Александровна, Устюгова Татьяна Николаевна*

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614000, Россия,  
г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, anna\_kamenskih@mail.ru

В работе рассмотрено численное моделирование задачи контактного взаимодействия верхнего и нижнего зубного ряда на примере двух зубов с учетом и без протетической конструкции. В рамках исследования была проведена серия численных экспериментов, для двух моделей: контакт зубов без зубной шины; контакт зубов через зубную шину из этиленвинилацетата (Eva). Материал зубов и каппы рассматривается как упругий, задача реализовывалась в осесимметричной постановке с учетом и без учета трения между сопрягаемыми поверхностями. В рамках реализации задачи исследована сходимость численного решения по параметрам контакта, получены и проанализированы поля распределения контактных параметров в зависимости от силы индентирования, рассмотрено напряженно-деформированное состояние конструкции в целом. Выполнено сравнение результатов контактного деформирования зубов с учетом и без учета протетической конструкции, при этом установлено падение интенсивности напряжений в зубе из верхнего зубного ряда более чем на 60%; в зубе из нижнего зубного ряда более чем на 30%, чем при контакте без зубной шины.

Ключевые слова: контакт, зуб, осесимметричная задача, протетическая конструкция, этиленвинилацетат, моделирование.

Особое внимание в стоматологии и биомеханике в последнее время уделяется области применения средств защиты в виде зубных шин для профилактики травматизма [1]. При этом одним из актуальных направлений исследования является анализ напряженно-деформированного состояния зубочелюстной системы при использовании протетических конструкций, а также анализ зоны контакта зубной шины и зубочелюстной системы. В данной работе выполнен сравнительный анализ контактного деформирования зубной пары с учетом и без учета протетической конструкции, а также анализ влияния использования зубной каппы из Eva на НДС зубочелюстной системы.

Математическая постановка задачи включает в себя уравнений равновесия, геометрических и физические соотношений описанные в рамках теории упругости. Математическая постановка так же дополняется граничными и контактными граничными условиями: запрет вертикальных перемещений по нижней границе зуба нижнего зубного ряда; постоянную силу индентирования приложенную к верхней границе зуба верхнего зубного ряда. Рассматривается контактное взаимодействие без трения, которые включают в себя проскальзывание без трения:  $\vec{u}^1 \neq \vec{u}^2$ ,  $\sigma_n^1 = \sigma_n^2$ ,  $\sigma_{n\tau}^1 \neq \sigma_{n\tau}^2$ , где  $\vec{u}$  – перемещения на контактной границе,  $\sigma_n$  и  $\sigma_{n\tau}$  – напряжение по нормали и по касательной к контактной границе соответственно.

Характерные размеры зубной пары: высота 10 и 8 мм, ширина 6 и 7 мм для зуба из верхнего и нижнего зубного ряда соответственно. Материал зуба задается свойствами зубной эмали  $E = 80,4 \cdot 10^3$  МПа и  $\nu = 0,3$ . В качестве материала каппы Eva –  $E = 17,3$  МПа и  $\nu = 0,3$ .

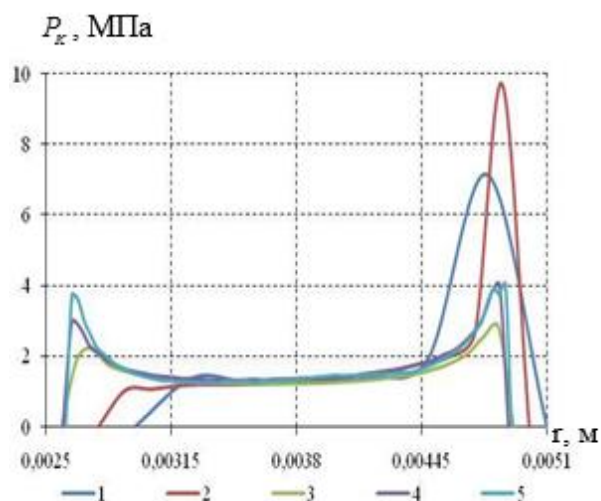
В рамках реализации задачи о контактном деформировании зубной пары рассмотрена зависимость результатов численного решения от степени дискретизации системы для задачи об контактном взаимодействии зубов из верхнего и нижнего зубного ряда постоянной силой 100 Н без учета протетической конструкции. Сходимость рассматривалась на примере контактного давления (рис. 1), параметры конечно-элементной сетки приведены в таблице 1.

**Таблица 1: Параметры конечно-элементарной сетки**

№ П/П	Количество узловых неизвестных	Количество контактных элементов	Максимальный размер элемента, м	Минимальный размер элемента, м
1	2172	114	1,00E-03	2,50E-04
2	8062	240	4,50E-04	1,13E-04
3	25852	451	2,50E-04	6,25E-05
4	66924	715	1,50E-04	3,75E-05
5	145656	1127	1,00E-04	2,50E-05

Рассмотрено 5 вариантов конечно-элементной сетки: рассматривается градиентное уменьшение размера элемента к зоне сопряжения контактных поверхностей. Установлено, что численное решение задачи сходится и можно ограничиться конечно-элементной сеткой № 4. При этом аналогичный вариант построения конечно-элементной сетки выбирается и для задачи о контактном взаимодействии зубной пары через протетическую конструкцию.

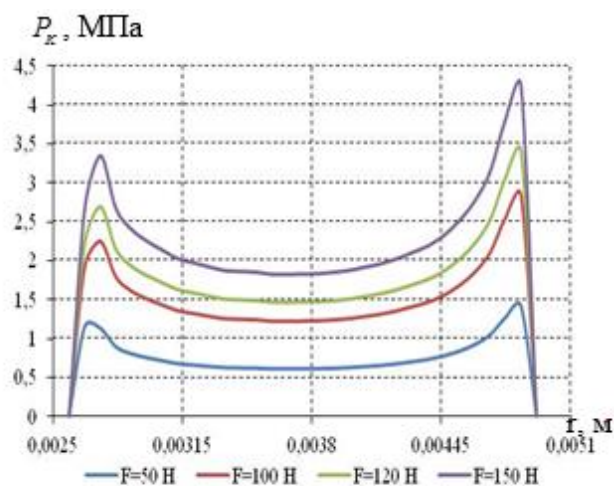
Результаты серии численных расчетов при силе индентирования от 50 до 150 Н показаны на рис. 2.



**Рис. 1. Контактное давление на разных конечно-элементных сетках(1-5 № численного расчета)**

В упругой постановке при увеличении силы индентирования профиль контактного давления для всех вариантов расчета имеет малые отличия, а максимальное контактное давление линейно зависит от силы индентирования.

В рамках работы так же выполнен сравнительный анализ НДС контактного биомеханического узла при контакте зубов с учетом и без учета протетической конструкции. Для примера, на рис. 3 показано интенсивность напряжений в паре зубов при контактном взаимодействии без трения при силе индентирования 100 Н.



**Рис. 2. Распределение контактного давления при разной силе индентирования**

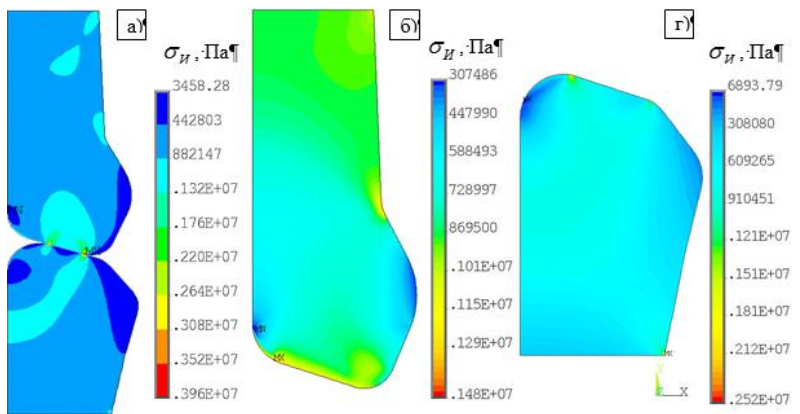


Рис. 3. Поля распределения  $\sigma_{II}$  при  $F=100$  Н: а) контакт зубной пары без протетической конструкции; б, г) контакт зубной пары через протетическую конструкцию

При введении в модель трения характер деформирования зубной пары мало отличается от модели без учета трения. Распределение контактного давления и контактного касательного напряжения очень похожи по характеру распределения по поверхности контакта. При этом контактное касательное напряжение в 10 меньше контактного давления.

#### Библиографический список

1. Каменских А.А., Лесникова Ю.И. Численное моделирование контакта полупространства из этиленвинилацетата с зубом-индентором // Математическое моделирование в естественных науках. 2017. Т. 1. С. 22-26.

### NUMERICAL ANALYSIS OF BIOMECHANICAL CONTACT INTERACTION OF TOOTH PAIR

*Kamenskikh Anna, Ustjugova Tat'jana*

Perm National Research Polytechnic University, 614000, Russia, Perm, Komsomolsky Av. 29,  
anna\_kamenskikh@mail.ru

Numerical modeling of the contact interaction problem between the upper and lower dental row is considered in the work on the example of two tooth with and without a mouthguard. A series of numerical experiments was carried out within the framework of the study for two models: contact of teeth without mouthguard; contact of teeth with mouthguard of Eva. The material of teeth and mouthguard is considered as elastic, the problem was realized in an axisymmetric setting with and without friction. The convergence of the numerical solution with respect to the contact parameters is investigated, the distribution fields of the contact parameters depending on the indentation strength are obtained and analyzed in the framework of the problem realization, stress-strain state of the design is considered as a whole. Comparison of the contact deformation results of teeth with and without of the mouthguard is carried out, while a decrease in the intensity of stresses in the tooth from the upper dentition row is more than 60%; in the tooth from the lower dentition row more than 30% than when contact without a mouthguard are established.

Keywords: contact, tooth, axisymmetric problem, mouthguard, Eva, modeling.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЯТНИКОВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА С ЗАМКНУТЫМ КОНТУРОМ

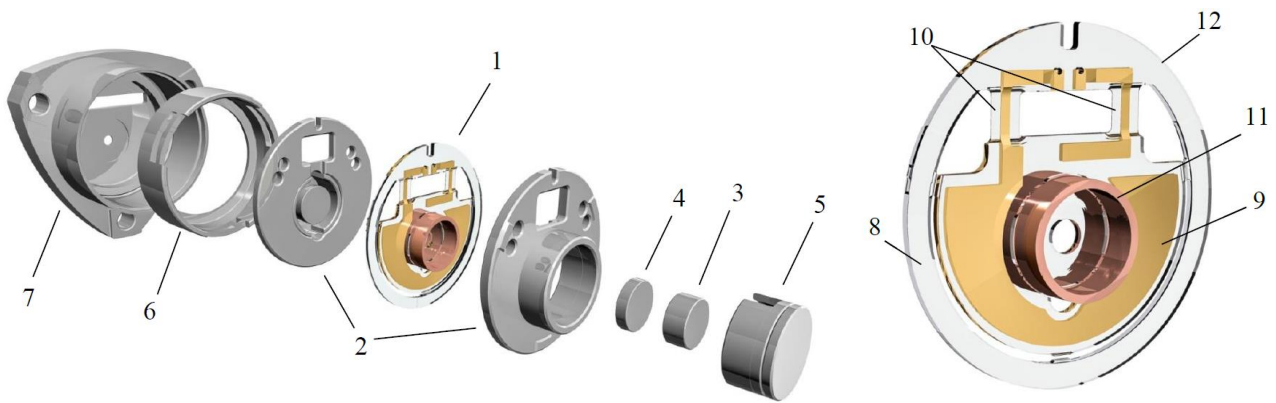
*Конотоп Данил Алексеевич, Максимов Петр Викторович*

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614000, Россия,  
г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, konotopda@gmail.com

Как известно из второго закона Ньютона, в классической механике ускорение участвует в соотношении между приложенной силой и массой материальной точки. Таким образом, с помощью специальных датчиков – акселерометров (лат. *accelero* – «ускоряю» и др.-греч. *μετρέω* – «измеряю»), используя соответствующие физические явления, можно получать информацию о величине измеряемого ускорения, например, в виде электрического сигнала. Объектом исследования в данной работе является кварцевый маятниковый компенсационный акселерометр, предназначенный для работы в инерциальных навигационных системах (ИНС). Описывается построение модели устройства учитывающей как механическую часть, так и электрическую цепь усилителя. В рамках работы были получены уравнение движения чувствительного элемента (ЧЭ), а также реализована модель аналогового электрического контура отрицательной обратной связи (ООС). Данный подход подразумевает решение связанной физико-механической задачи. В качестве среды для разработки модели прибора была выбрана платформа MATLAB/Simulink с использованием расширения Simscape Electronics. Таким образом, реализована возможность оценки динамического отклика системы, а также проектирования схемы усилителя прибора.

Ключевые слова: акселерометр, отрицательная обратная связь, численное моделирование, MATLAB, Simulink.

На рис. 1 приведены основные элементы акселерометра. 1 – ЧЭ; 2 – магнитные системы; 3 – постоянный магнит; 4 – полюсный наконечник; 5 – стакан магнитной системы; 6 – втулка обоймы; 7 – корпус датчика; 8 – подвижная пластина; 9 – металлизация; 10 – упругие перемычки; 11 – катушка датчика силы; 12 – внешнее кольцо. Кратко описать принцип работы устройства можно следующим образом: под воздействием сил инерций ЧЭ отклоняется от своего нулевого положения, это перемещение детектируется дифференциальным емкостным датчиком перемещений. После чего на вход усилителя акселерометра поступает сигнал рассогласования, где с помощью RC-цепочек выделяется полезная составляющая. Далее выделенный и усиленный сигнал поступает на обработку в интегратор, который выступает аналоговой запоминающей ячейкой и в конечном итоге формирует пропорциональный сигнал в виде напряжения. Для реализации компенсирующей силы используется двоянный датчик силы, который работает по принципу звукового динамика. Катушки помещены в поле постоянных магнитов, образующих цилиндрическое магнитное поле, таким образом, на каждый элемент материала катушки, через который протекает ток, действует сила Ампера, компенсирующая силу инерции, а величина тока является мерой измеряемого ускорения.



**Рис. 1. Основные элементы акселерометра**

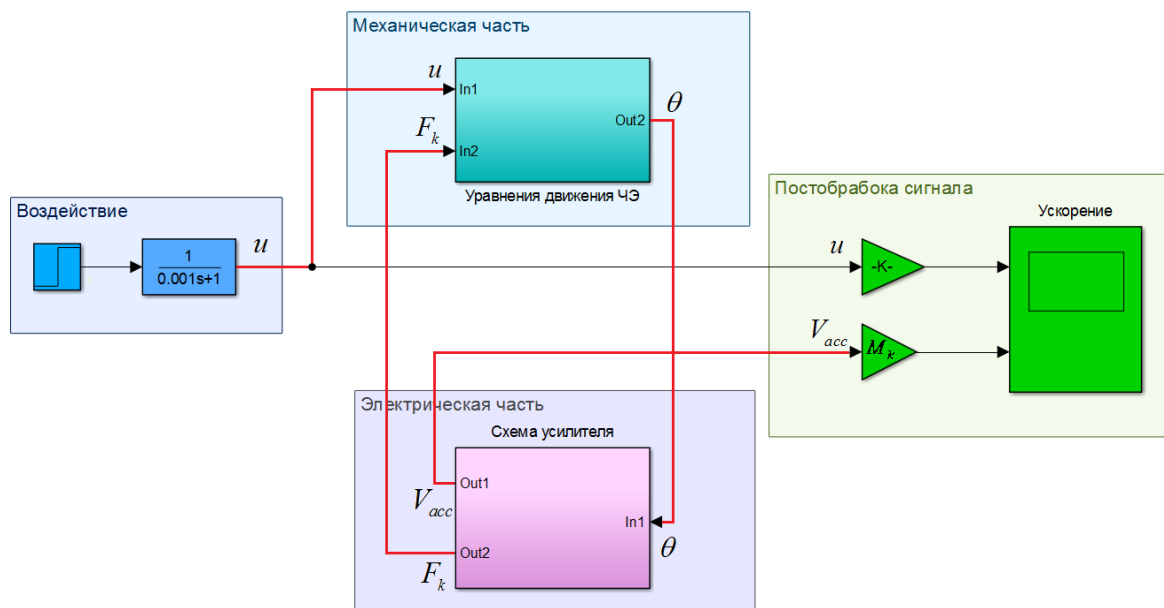
Для вывода уравнений движения использовались следующие предположения: пластина ЧЭ недеформируемая и имеет одну степень свободы (угол поворота  $\theta$ ). Применяя уравнения Лагранжа 2-го рода уравнение движения можно записать в виде:

$$(J_c + ma^2)\ddot{\theta} = Q,$$

где  $J_c$  – главный центральный момент инерции чувствительной массы;  $m$  – масса ЧЭ;  $a$  – расстояние до центра масс (ЦМ);  $\ddot{\theta}$  – угловое ускорение;  $Q$  – обобщенные силы, которые включают в себя совокупность всех воздействий, действующих на ЧЭ (силы, обусловленные жесткостью упругих элементов, ускорениями, демпфированием, погрешностью смещения нуля, а также компенсирующей силой).

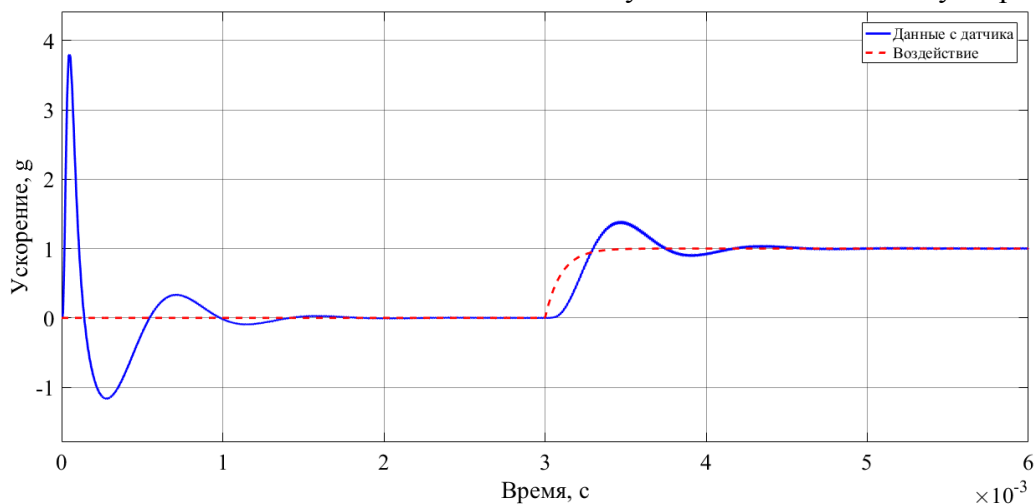
Усилитель акселерометра состоит из следующих типов элементов: резистор, конденсатор, диод, транзистор, операционный усилитель. Для каждого из этих компонентов существует математическое описание. В пакете MATLAB/Simulink с помощью расширения Simscape Electronics была реализована электрическая схема усилителя прибора. Таким образом, уравнение движения ЧЭ было представлено с помощью стандартных средств Simulink как эквивалентная блок-схема, а электрический домен с помощью системы имитационного моделирования. Описанный подход подразумевает решение междисциплинарных уравнений (механика, электротехника).

В общем случае модель акселерометра представлена на рис. 2. Она состоит из четырех сегментов. В первом задается воздействие в виде ускорения  $u$ , поступающее в блок механической части. Результатом работы этого блока является угол поворота  $\theta$  пластины на каждом временном шаге, который подается на вход электрического домена, на выходе мы имеем выходное напряжение акселерометра  $V_{acc}$ , которое умножив на масштабный коэффициент  $M_k$ , будет соответствовать воздействию на ЧЭ ускорению. Последний сегмент модели представляет собой осциллограф, где выводится заданное воздействие и результаты симуляции работы прибора. В целом модель представляет собой классическую замкнутую систему с ООС и ПИ-регулятором. Для численного интегрирования уравнений был использован метод трапеций с интерполяцией [1].



**Рис. 2. Структурная блок-схема модели акселерометра**

На рис. 3 представлены результаты моделирования. Приведен начальный момент времени работы прибора, что соответствует «включению» устройства, а также воздействие ускорения вдоль оси чувствительности. Процесс перерегулирования в начальный момент времени объясняется тем, что следящая система приводит маятник в «электрический ноль», который может отличаться от геометрического нулевого положения. Далее видно, как система обрабатывает воздействие в виде сглаженного ступенчатого линейного ускорения.



**Рис. 3. Результаты моделирования**

Построенная модель может быть использована не только для оценки динамического отклика системы, но и для возможности проектирования электрической схемы усилителя.

Данная модель может быть подвергнута усложнению путем введения дополнительных степеней свободы движения ЧЭ, а также учета температурного воздействия.

### Библиографический список

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. 288 с.
2. Вавилов В.Д. Интегральные датчики: учебник. Нижегород. гос. техн. ун-т Н. Новгород, 2003. 503 с.
3. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. – М.: Машиностроение. – 2007. 399с.



## **NUMERICAL SIMULATION OF THE CLOSED-LOOP PENDULOUS ACCELEROMETER**

*Konotop Danil A., Maksimov Petr V.*

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614000,  
konotopda@gmail.com

The object of research in this article is the “Q-flex” closed-loop pendulous accelerometer designed for installation in inertial navigation systems (INS). In this paper, we describe the creation of a device model that takes into account the mechanical part and the electric circuit of the amplifier. This means that the equation of motion of the sensing element has been received, and also the model of an analog electrical circuit of negative feedback is realized. As a development environment the MATLAB/Simulink and Simscape Electronics were chosen. Thus, it is possible to evaluate the dynamic response of the system, as well as the design of the device amplifier circuit.

Keywords: accelerometer, negative feedback, numerical simulation, MATLAB, Simulink.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СВАЙ ИЗ ГРУНТА С ПОМОЩЬЮ МНОГОСТВОЛЬНЫХ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ ОРУДИЙ

*Мазейна Надежда Николаевна*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, mazeinadya@gmail.com

В статье рассмотрена эффективность и устойчивость математической модели извлечения свай из грунта с помощью многоствольных артиллерийских систем. Проведен численный эксперимент, показывающий величину извлечения свай из грунта, максимальное давление в стволе артиллерийского орудия и дульное давление. На основании численного эксперимента была сопоставлена эффективность применения одноствольных, двухствольных и трехствольных артиллерийских систем для извлечения свай из грунта, в результате анализа эффективности орудий сделан вывод о наибольшей эффективности трехствольных артиллерийских систем для решения данной задачи. Исследована устойчивость математической модели для трехствольной артиллерийской системы путем варьирования ее технических характеристик: длины канала и диаметра ствола артиллерийского орудия, массы заряда и откатных частей артиллерийской системы, объема камеры. Показана устойчивость данной модели относительно технических характеристик орудия.

Ключевые слова: математическая модель, исследование модели, машиностроение, артиллерийское орудие, динамика, проникание, информационные технологии.

### **Введение**

В процессе свайных работ часто возникает извлечение свай из грунта. Многие из существующих методов трудно применимы в городских условиях при точечной застройке зданий. Данную проблему можно решить, используя способ извлечения строительных элементов из грунта с помощью многоствольных артиллерийских орудий.

На рис. показана принципиальная схема многоствольной откатной артиллерийской системы, позволяющей извлекать сваи из грунта за счет энергии отката орудий при их одновременном выстреле [1].

Способ извлечения строительных элементов из грунта с помощью многоствольных артиллерийских орудий включает следующую последовательность операций:

- штампы 6 вставляют в стволы артиллерийских орудий 2;
- на казенные части артиллерийских орудий 4 устанавливают платформу в виде круга 3 с точками соприкосновения на концах диаметра круга, причем каждая пара откатных частей артиллерийских орудий устанавливается на противоположных концах диаметров платформы 3;
- центр круга платформы 3 прикрепляется к голове извлекаемого строительного элемента 7 с помощью натянутого троса 5;
- производят синхронизированный выстрел из всех орудий;
- платформа 3, поднимаясь вверх за счет отката при выстреле, извлекает из грунта 1 строительный элемент 7.

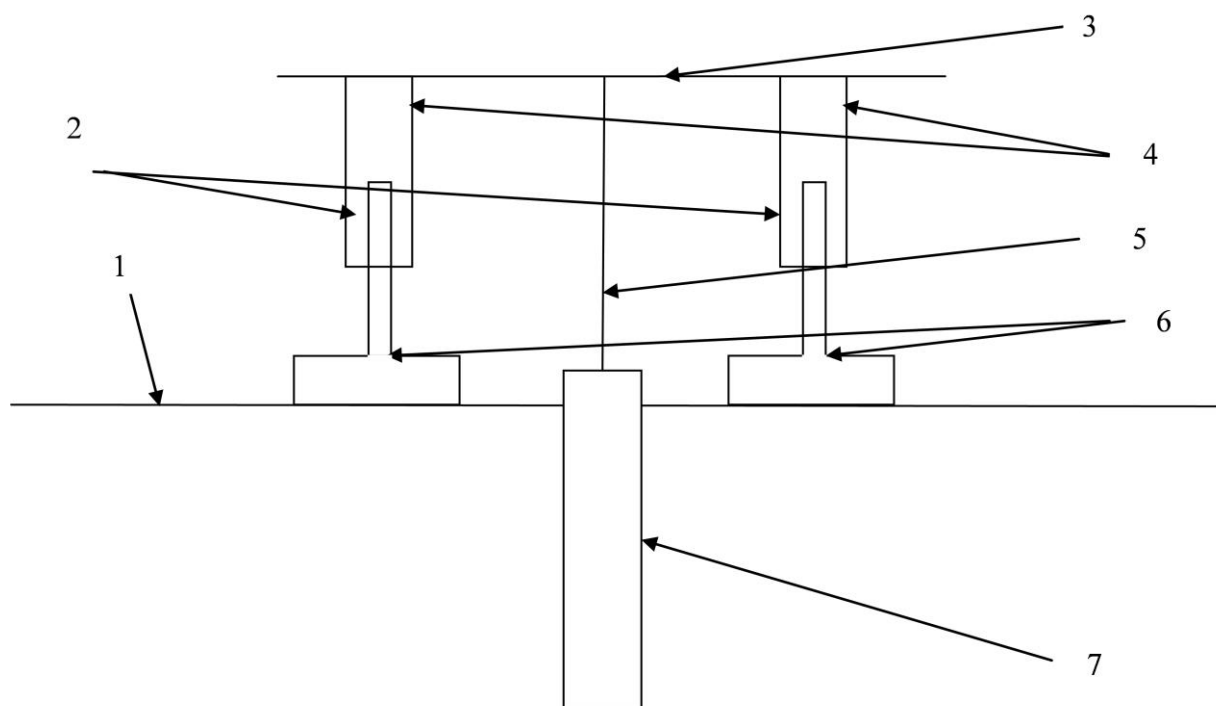


Рис. Принципиальная схема извлечения свай из грунта с помощью многоствольных откатных артиллерийских орудий (вид сбоку)

### Численный эксперимент

Уравнения для описания соответствующего процесса, в основу вывода которых положены результаты работы [2], приведены в статье О.Г. Пенского и А.Г. Кузнецова «Математическая модель извлечения свай из грунта с помощью многоствольных артиллерийских систем», находящейся в настоящее время в печати.

На основе этих математических моделей сравним эффективность применения одноствольных, двухствольных и трехствольных артиллерийских систем. Для расчета была разработана необходимая компьютерная программа.

Исходные данные: диаметр головной части штампа – 0,5 м, масса штампа – 800 кг, диаметр извлекаемой сваи – 0,168 м, масса сваи – 240 кг, первоначальное проникание (заглубление) сваи – 4 м, масса заряда – 0,308 кг, объем камеры – 0,001 026 м<sup>3</sup>, давление форсирования – 20 000 000 Па, калибр ствола – 0,17 м, полный импульс давления газов во время сгорания пороха (импульс пороха) – 376 500 Па\*с, масса откатных частей орудия – 3673 кг, длина канала ствола – 1,5 м.

Таблица 1. Сравнение эффективности артиллерийских систем

n - количество стволов в артиллерийской системе	1	2	3
P – максимальное давление в одном стволе	294,5 МПа	199,6 МПа	131,4 МПа
P <sub>д</sub> – дульное давление в одном стволе	3,6 МПа	3,5 МПа	3,4 МПа
l <sub>пр</sub> – глубина проникания штампа в грунт	0,85 м.	1,23 м.	1,41 м.
l <sub>изв</sub> – высота извлечения сваи из грунта	1,08 м.	4 м.	4 м.
l <sub>подск</sub> – высота подскока сваи	0	1,14 м.	4,05 м.

По результатам численного эксперимента (см. таблицу 1) можно сделать вывод о том, что для извлечения сваи из грунта эффективнее использовать трехствольное артиллерийское орудие. В этом случае максимальное давление в стволе и дульное давление принимают наименьшее значение, а величина извлечения (с учетом подскока головы сваи) наибольшая.

### Исследование математической модели на устойчивость

Для исследования устойчивости математической модели извлечения свай из грунта был повторно проведен численный эксперимент для трехствольного орудия с измененными

техническими характеристиками. В каждом эксперименте значение конкретного параметра было увеличено на 1%. Измененные значения: длина канала ствола  $l_d - 1,515$  м, масса заряда  $\omega - 0,311$  кг, диаметр ствола  $d_{ст} - 0,1717$  м, объем камеры  $w_0 - 0,001\ 036$  м<sup>3</sup>, масса откатных частей  $Q - 3710$  кг. Величина извлечения сваи останется прежней – 4м.

**Таблица 2. Исследование устойчивости математической модели**

Параметр	без изменений	$l_d$	$\omega$	$d_{ст}$	$w_0$	$Q$
$P$	131,4 МПа	131,4 МПа	133,9 МПа	126,5 МПа	130 МПа	131,6 МПа
$P_d$	3,4 МПа	3,4 МПа	3,5 МПа	3,4 МПа	3,5 МПа	3,5 МПа
$l_{пр}$	1,41 м	1,42 м	1,42 м	1,41 м	1,41 м	1,42 м
$l_{подск}$	4,05 м	4,05 м	4,15 м	4,01 м	4,04 м	3,92 м

Максимальное давление в стволе изменилось не более чем на 3,7%, дульное давление – на 2,9%, глубина проникания сваи – на 0,7%, высота подскока сваи – 3,2% (см. таблицу 2). Следовательно, можно сделать вывод об устойчивости математической модели относительно изменения технических характеристик артиллерийской системы.

При данных параметрах системы наблюдаем достаточно большое значение подскока головы сваи. Таким образом, можно судить применимости и эффективности данной системы при извлечении сваи с большим заглублением. Максимальное значение заглубления сваи, при котором свая будет полностью извлечена, для артиллерийской системы с данными техническими характеристиками – 6,5 м.

#### **Заключение**

На основе математической модели была разработана программа расчета динамики орудия. В результате численного эксперимента показана эффективность использования трехствольной артиллерийской системы при извлечении сваи из грунта, устойчивость математической модели относительно технических характеристик орудия. Следовательно, данная математическая модель может быть использована при решении конкретных технических задач.

#### **Библиографический список**

1. Пенский О.Г., Мазеина Н.Н., Шестаков Е.С. Способ извлечения строительных элементов из грунта с помощью многоствольных артиллерийских орудий. Заявка на патент РФ на изобретение № 2017126845, дата приоритета 25.07.2017.
2. Маланин В.В., Остапенко Е.Н., Пенский О.Г., Черников А.В. Принципиальные схемы и математические модели строительных артиллерийских орудий. Пермь: Изд. ПермГУ, 2016. С. 495.

## **RESEARCH OF MATHEMATICAL MODEL OF EXTRACTING THE PILE FROM THE GROUND WITH THE MULTIPLE ARTILLERIAN ORMUNAS**

*Mazeina Nadezhda N.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, mazeinadya@gmail.com

The paper considers the efficiency and stability of the mathematical model of pile extraction from the ground with the help of multi-barrel artillery systems. Numerical experiment showed the size of pile extraction from the ground, the maximum pressure in the barrel of the artillery gun and muzzle pressure. Based on a numerical experiment, the effectiveness of using single-barreled double-barreled and tri-barrel artillery systems was compared to extract piles from the ground. As a result of the analysis of the effectiveness of the tools, it was concluded that the tri-barrel artillery system is most effective for solving this problem. The stability of the mathematical model for the tri-barrel artillery system is studied by varying its technical characteristics: the length of the channel and the diameter of the barrel of the artillery gun, the mass of the charge and the recoil parts of the artillery system, the volume of the chamber. The stability of this model is shown with respect to the technical characteristics of the artillery gun.

**Keywords:** mathematical model, research of the model, engineering, artillery, dynamics, penetration, information technology.

## ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОЧЕРЕДЕЙ В ETHERNET-КОММУТАТОРАХ

*Моисеев Виктор Игоревич*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, vim@psu.ru

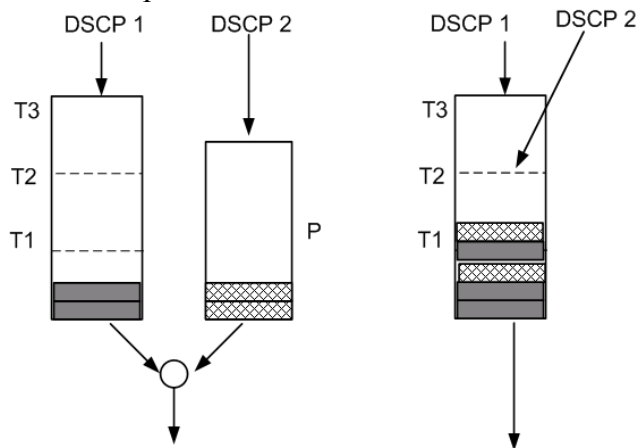
В работе предложен метод детектирования дисциплины обслуживания пакетного буфера Ethernet-коммутатора на предмет структуры и соотношений длин очередей буфера порта. Определение размера буфера производится на основании наблюдения за поведением пакетного трафика при его прохождении сквозь исследуемое устройство под большой нагрузкой. На основе предполагаемой архитектуры тракта обработки пакета построена модель переходного процесса нарастания пакетной очереди в различных точках внутреннего тракта обработки пакета. Показано как структура и относительные размеры очередей влияют на наблюдаемые свойства пакетного трафика под предельной нагрузкой. Метод позволяет определить используемую структуру очередей - одна исходящая очередь, несколько исходящих очередей, несколько граничных условий, приоритетная очередь.

Ключевые слова: пакетный буфер, очереди с приоритетами, дисциплина обслуживания, QoS.

Современные Ethernet-коммутаторы реализуют множество различных алгоритмов обслуживания пакетных очередей. Требуется это в первую очередь для достижения заданных показателей качества обслуживания (QoS) на различных видах трафика [1]. Транзитные пакеты образуют внутри коммутатора очереди – обычно имеется буфер на входе любого Ethernet-порта, и буфер на выходе порта. Если порты коммутатора конкурируют за время обслуживания неким внутренним элементом (к примеру, коммутационной матрицей) – перед таким элементом может быть размещен буфер [2]. Для достижения разных показателей QoS на разных видах трафика пакетные буферы могут быть разделены виртуально или физически на очереди [3]. Очереди могут обслуживаться согласно различным правилам и приоритетам. Более того, в пределах одной очереди могут действовать различные правила для разных типов трафика. Интенсивности обслуживания пакетов в современных коммутаторах настолько большие, что не позволяют наблюдать динамику заполнения пакетного буфера, возможно лишь фиксировать факт переполнения буфера. В данной работе предложена методика определения схемы включения буферов и их размеров косвенно, по эффектам, которые они оказывают на пакетный трафик.

Рассмотрим несколько простых схем организации очередей и различия в их влиянии на проходящий трафик. Простейшая дисциплина обслуживания очереди – FIFO (“первый пришел – первый вышел”). Все пакеты трафика равноправны и на нагруженном порту буферизуются в очереди. Очередь растет до определенного максимального размера, после чего вновь прибывшие пакеты отбрасываются (схема “tail-drop”). Когда требуется обеспечить различные уровни обслуживания, пакеты различных классов маркируются либо в момент прихода на порт, либо заранее – в процессе передачи по сети. Маркировка производится в полях DSCP в заголовке IP, и/или в полях CoS кадров Ethernet. Одна из популярных схем реализации приоритетного обслуживания – выделение на буфере приоритетной очереди – трафик из данной очереди будет обслужен вне зависимости от того,

ожидают ли пакеты в обычной очереди. Размеры обычной и приоритетной очереди могут отличаться. Другая распространенная схема – выделение в очереди промежуточных предельных значений, которые действуют только на отдельные классы трафика. Пакеты трафика определенного класса будут отброшены при превышении граничного значения заданного именно для этого класса. Примерная архитектура буфера с двумя очередями, одна из которых приоритетная, представлена на Рис 1(а). На Рис 1(б) изображена одна очередь с несколькими промежуточными границами.

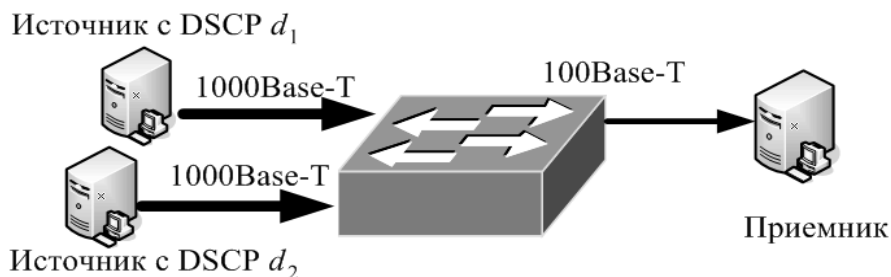


**Рис 1. Схема организации пакетного буфера с приоритетной очередью – слева (а), с тремя промежуточными границами в единственной очереди – справа (б).**

Предлагаемая методика экспериментального определения размера буфера порта основана на наблюдении влияния перегруженного порта на временные свойства транзитного трафика. Пусть пакеты поступают с постоянной интенсивностью, время обработки всех пакетов одинаково и зависит только от размера пакета. Примем также, что интенсивность обработки пакетов постоянна и известна, а количество мест в очереди (буфере) конечно и равно  $N$ . Такую схему СМО принято обозначать  $D/D/1/N$ . Аналитическое решение для переходных процессов в подобной очереди дано в [4]. Исследуемый коммутатор включается в разрыв между двумя тестирующими узлами. С узла источника запускается непрерывный поток пакетов одинаковой длины с битовой интенсивностью  $\lambda$ . Приемник переключается на скорость, заведомо меньшую, чем у источника и принимает пакеты с битовой интенсивностью  $\mu$ . Каждый пакет нумеруется порядковым номером. По непрерывности ряда принятых порядковых номеров мы можем судить о фактах потерь пакетов коммутатором. Для битового размера буфера при данных условиях, на основании графиков заполнения очереди, нами получена формула:

$$B = M + (t_L - t_1) \left( \mu - \frac{\mu^2}{\lambda} \right),$$

где  $M$  – битовый размер пакета,  $t_1$  – экспериментально зафиксированное время приема первого пакета,  $t_L$  – экспериментально зафиксированное время получения последнего пакета с корректным номером. Расширим данную методику к пакетному буферу, представленному на Рис 1(а). Для генерирования трафика применим два независимых источника (Рис 2).



**Рис.2. Схема включения коммутатора с двумя источниками и одним получателем.**

Из представленной схемы очевидно, что любой из двух источников трафика может перегрузить пакетную очередь и ввести исходящий порт в состояние перегрузки. Начнем генерацию трафика на первом источнике с максимально возможной интенсивностью, по вышеописанной методике, с пакетами, промаркированными произвольным значением DSCP  $d_1$ . Вычислим объем буфера относительно первого потока –  $B_1$ . Убедимся при помощи анализатора трафика на Приемнике, что некоторые пакеты отбрасываются коммутатором, и очередь на порту находится в состоянии перегрузки. При этом размер очереди в пакетах находится в постоянной флуктуации от максимального размера  $N$  до  $N-1$ . Далее, не останавливая первый поток трафика, проводим эксперимент аналогично, но с независимого источника трафика, также на максимальной интенсивности, с пакетами, промаркированными отличным от первого кодом DSCP  $d_2$ . Вычислим объем буфера относительно второго потока –  $B_2$ . В случае, если оба потока попадают в одну и ту же очередь и не имеют приоритетов относительно друг друга, на втором потоке Приемник не зафиксирует начального линейного участка с непрерывными номерами пакетов. Вычислить  $B_2$  не получится, что равносильно значению  $B_2$  эквивалентному одному пакету. Таким образом, если значение  $B_2$  удастся измерить при многократном проведении эксперимента, значит трафик с DSCP  $d_2$  попадает в приоритетную очередь и ее объем равен  $B_2$ . Теперь измерим размеры очередей для каждого из потоков  $d_1$  и  $d_2$  независимо, без трафика от второго источника. Обозначим полученные размеры  $B_1'$  и  $B_2'$ , соответственно. Если  $B_2' = B_2$ , то приоритетная очередь является выделенной, и менее приоритетный трафик на нее не влияет. Если же  $B_2' \neq B_2$ , то приоритетный трафик  $d_2$  использует ту же очередь, что и  $d_1$ , но пакеты попадают под действие различных граничных значений (см. Рис 1(б)). Перебрав все комбинации значений DSCP (или, что проще, поле CoS в IEEE 802.1q метке) для обоих потоков трафика, мы можем получить таблицу соответствия значений DSCP конкретным очередям и граничным уровням.

Предложенная методика позволяет делать выводы о внутреннем устройстве пакетного буфера коммутатора на основе наблюдений за трафиком, что может быть полезно при планировании сетей передачи данных, нагрузочном тестировании, аттестации на соответствие техническим условиям.

### Библиографический список

1. Приказ Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации от 27.09.2007 № 113 «Об утверждении Требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования» [Электронный ресурс] URL: <http://minsvyaz.ru/ru/documents/3921/> (дата обращения: 01.02.2018)
2. Guido Appenzeller, Isaac Keslassy, Nick McKeown Sizing Router Buffers. // Материалы конференции SIGCOMM'04, Aug. 30–Sept. 3, 2004, Portland, Oregon, USA
3. Szigeti T., Hattingh C., Barton R., Briley K. End-to-End QoS Network Design: Quality of Service for Rich-Media & Cloud Networks, 2nd Edition. Cisco Press, 2012. 1040 p. P. 562-565.
4. Garcia J.-M., Brun O., Gauchard D. Transient Analytical Solution of M/D/1/N Queues // Journal of applied Probability, Vol. 39, No. 4 (Dec.,2002), P. 853-864.



## DETECTING ETHERNET SWITCH BUFFER SCHEDULING DISCIPLINE

*Moiseev Victor I.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, vim@psu.ru

We present a method to detect and verify scheduling discipline of Ethernet switch packet buffers. Buffers are verified on size and priority handling. Buffer sizes estimated on the basis of analyzed packet loss under overload conditions. Based on possible buffer architectures we study effects of different engineering decision on observed traffic patterns. We show how from these patterns internal buffer schemes could be revealed.

Key words: scheduling discipline, QoS, packet buffer, priority queue

## КОНОСКОПИЧЕСКИЕ ФИГУРЫ В ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ: КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАТУРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

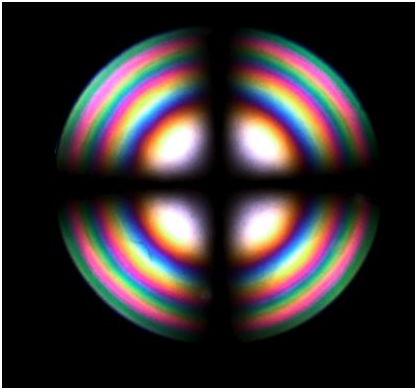
*Пермякова Ольга Олеговна*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, psksvs@yandex.ru

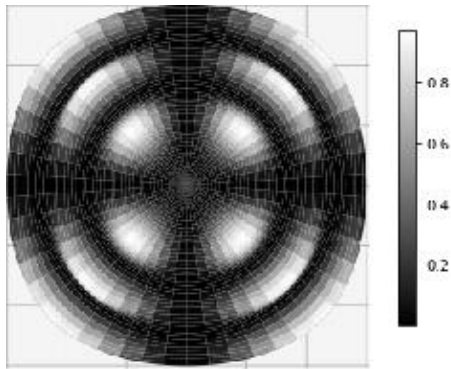
В данной работе представлено исследование коноскопической картины для слоя гомеотропно ориентированного нематического жидкого кристалла МВВА при толщине слоя 30 мкм. Приведено численное моделирование коноскопической фигуры при разном наклоне оптической оси с использованием средств языка python, а также библиотек numpy и matplotlib. Проведено сравнение коноскопической фигуры рассчитанной численно и полученной на поляризационном микроскопе Olympus BX51-P при нормальном положении оптической оси к поверхности слоя. Показано, что зависимость смещения центра креста изогиры пропорциональна толщине ячейки и является функцией тангенса угла поворота оптической оси кристалла, а также то, что при повороте оси более чем на  $45^\circ$  перекрестие скрывается из поля зрения микроскопа. Результаты расчетов при сопоставлении с экспериментальными данными могут быть использованы для адекватного вычисления материальных констант жидких кристаллов.

Ключевые слова: жидкий кристалл, двойное лучепреломление, коноскопические фигуры.

Коноскопические фигуры – интерференционные картины, наблюдаемые в сходящемся (расходящемся) поляризованном свете, прошедшем через кристаллическую пластинку при скрещенных или параллельных поляроидах. Коноскопия находит широкое применение для исследования оптических свойств "твердых" кристаллов [1]. Жидкие кристаллы (ЖК) сочетают в себе свойства, как жидкостей, так и твердых тел [2], но в отличие от кристаллических тел, оптической осью ориентированных жидких кристаллов можно управлять с помощью электрических и(или) магнитных полей. Это открывает дополнительные возможности для исследования структуры таких материалов. Вместе с тем, оптическая ось жидкокристаллического слоя при наличии внешних воздействий имеет сложный нелинейный вид, обусловленный разным углом наклона длинных осей молекул в направлении действия поля. В натуральных экспериментах можно измерить только интегральную (усредненную) ориентацию молекул. Для сравнения результатов опытов с теорией и адекватного вычисления материальных констант ЖК, желательно иметь информацию об изменении угла наклона длинных осей молекул от слоя к слою ЖК. Получить такую информацию можно в результате совместного исследования данных натурального эксперимента и компьютерного моделирования. Компьютерное моделирование коноскопических фигур предмет исследования целого ряда работ. Так в работе [4] получены уравнения изохром: показано, что они являются кривыми восьмого порядка. В работе [5] приведены коноскопические фигуры для жидкого кристалла с учетом поворота оптической оси. В настоящей работе предпринята попытка совместного экспериментального исследования коноскопических картин и их компьютерного моделирования.



**Рис. 1** Коноскопическая фигура с гомеотропной ориентацией слоя ЖК



**Рис. 2** Моделирование коноскопической фигуры для зеленого света 550 нм

Для натуральных наблюдений была изготовлена ячейка типа «сэндвич», состоящая из двух стеклянных подложек с электропроводным слоем, слоя ориентанта и прокладок, задающих толщину слоя ЖК. В качестве рабочей жидкости использовался нематический жидкий кристалл МВВА ( $C_{18}H_{21}NO$ ). Гомеотропная ориентация слоя ЖК осуществлялась введением в матрицу поверхностно активного вещества (лецитин). Для наблюдения использовался поляризационный микроскоп Olympus BX51-P. На рис. 1 показана типичная интерференционная картина, наблюдаемая в микроскоп. Коноскопическую фигуру можно охарактеризовать двумя типами линий: изохроматами и изогирями. Для изохроматических кривых разность фаз двух интерферирующих волн является постоянной величиной, тогда как для изогир постоянен угол между направлением колебаний, пропускаемых поляризатором и направлений, пропускаемых анализатором. На рис. 1 изохромы представлены в виде семейства окружностей, а изогир в виде «мальтийского креста».

Для компьютерного моделирования рассмотрим одноосный оптически положительный кристалл, шлиф которого вырезан перпендикулярно его оптической оси. Относительную интенсивность пропускаемого света можно выразить формулой (1):

$$J = \sin^2(2\varphi) \sin^2\left(\frac{\delta}{2}\right), \quad (1)$$

где  $J$  — относительная интенсивность прошедшего света,  $\varphi$  — угол между оптическими осями поляризатора и анализатора,  $\delta$  — разность фаз двух волн, поляризованных во взаимно-перпендикулярных плоскостях распространяющихся в кристалле.

Разность фаз связана с оптической разностью хода соотношением (2):

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} d(n_1 - n_2), \quad (2)$$

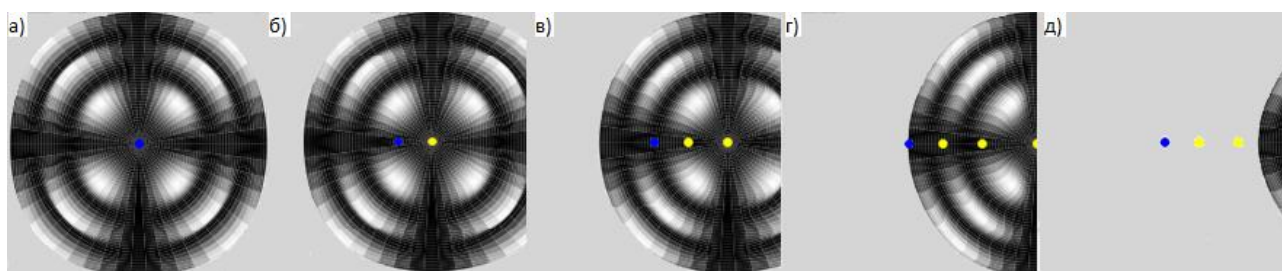
из которой следует, что, изменяя величину двулучепреломления ( $n_1 - n_2$ ) можно управлять изменением оптической разности фаз. Для одноосного кристалла эту разность можно выразить через величину главного двулучепреломления ( $n_g - n_p$ ), которая является константой кристалла. В соответствии с правилами перехода (3):

$$n_1 - n_2 = (n_g - n_p) \sin^2 \theta \text{ или } n_1 - n_2 = (n_e - n_o) \sin^2 \theta, \quad (3)$$

где  $\theta$  — угол между падающим светом и осью кристалла [1]. Подставляя (3) в формулу (1) получаем расчетную формулу для моделирования коноскопической фигуры одноосного кристалла (рис. 2). Заметим, что такой метод расчета является менее точным по сравнению с [4,5], но учитывая неизбежные погрешности натуральных опытов, достаточно информативным.

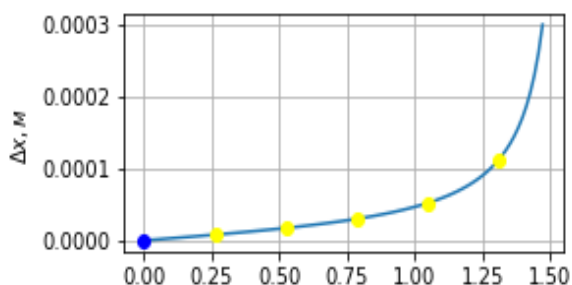
Расчет выполнен для следующих параметров:  $d = 30$  мкм,  $\lambda = 550$  нм,  $(n_o - n_e) = 0.2$ ,  $\varphi \in [0, \pi]$ ,  $\theta \in [0, \pi/4]$ . Отметим, что непосредственный расчет  $J$  по формуле (1) при подстановке значений  $\delta \in [0, 2\pi]$  невозможен, т. к. максимумы функции квадрата синуса расположены на одном расстоянии друг от друга, тогда как расстояние между максимумами коноскопической фигуры уменьшается при отдалении от центра «мальтийского креста», что и дает формула (2) при подстановке в нее (3).

На рис. 3 показаны результаты моделирования коноскопической фигуры. При распространении света вдоль оптической оси кристалла разность хода обыкновенного и



**Рис. 3** Моделирование наблюдаемого смещения вдоль оси перекрестия коноскопической фигуры: а) начальное положение коноскопической фигуры (синяя точка) при котором оптическая ось перпендикулярна поверхности шлифа, б) положения при повороте оптической относительно нормали к поверхности шлифа на 15°, в) на 30°, г) на 45°, д) на 60°; положение перекрестия при смещении обозначено желтыми точками

необыкновенного луча равна нулю, поэтому там наблюдается минимум интерференции. При повороте оптической оси на угол  $\alpha$  относительно нормали будет смещаться центр «мальтийского креста» (рис. 3).



**Рис. 4** График зависимости смещения перекрестия «мальтийского креста» от угла поворота оптической оси (в радианах) относительно нормали к поверхности шлифа толщиной 30 мкм

Это смещение будет составлять  $d \cdot \text{tg}(\alpha)$  (рис. 4), где  $d$  – толщина шлифа. Точками на рис. 4 отмечены те же положения, что и на рис. 3.

Как показали результаты моделирования, при наклоне оптической оси более чем на 45° центр коноскопической фигуры выходит из поля зрения микроскопа, при этом изогиры перемещаются параллельно самим себе. Результаты расчетов могут быть использованы для адекватного вычисления материальных констант жидких кристаллов.

### Библиографический список

1. Меланхолин Н.М. Методы исследования оптических свойств кристаллов. М.: Наука, 1979. 211 с.
2. Блинов Л.М. Электро- и магнитооптика жидких кристаллов. М.: Наука, 1978. 384 с.
3. Компанейцев В.П. Теория изогиры. // Известия АН Республики Казахстан. Серия геологическая, 1992, №4.
4. Колесников А.И., Капдунов И.А., Талызин И.В., Гречишкин Р.М., Ильяшенко С.Е. Исследование формы изохром в коноскопических картинах одноосных кристаллов // Успехи прикладной физики, 2013, Т. 1, №4, с. 410-414.
5. MacGregor A.R. Method for computing homogeneous liquid-crystal conoscopic figures // Journal of the Optical Society of America A, 1990, Vol. 7, Issue 3, pp. 337-347.
6. Шубников А.В. Основы оптической кристаллографии. М.: Издательство Академии наук СССР, 1958

# CONOSCOPIC FIGURES FOR LIQUID CRYSTAL: COMPUTER SIMULATION AND EXPERIMENT

*Permyakova Olga O.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, psksvs@yandex.ru

An article is present a study of the conoscopic pattern for a layer of a homeotropically oriented nematic liquid crystal (MBBA) at a layer thickness of 30  $\mu\text{m}$ . Numerical modeling of the conoscopic figure is perform with different tilt of the optical axis using the tools of the python language, as well as the numpy and matplotlib. The conoscopic figure was calculated numerically and compared with the picture obtained with the help of Olympus BX51-P polarization microscope. It is show that the dependence of the displacement of the center of the isogyres cross is proportional to the thickness of the cell and depends tangentially on the angle of rotation of the optical axis of the crystal. Also when the axis rotates by more than  $45^\circ$ , the crosshairs are leaved from the field of view of the microscope. The results of modeling can be used for an adequate calculation of the material constants of liquid crystals.

Keywords: liquid crystal, birefringence, conoscopic figures.

## ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОДНОГО ИЗ КРУПНЕЙШИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ХРОМОВЫХ СПЛАВОВ В МИРЕ

*Пьянков Михаил Андреевич, Симонов Петр Михайлович*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, pyankov.psu@yandex.ru

В данной статье дается краткое описание постановки оптимизационной задачи для «ТНК Казхром» - крупнейшего предприятия, входящего в Группу компаний ERG и одного из крупнейших производителей хромовых сплавов в мире. Рассмотрена целевая функция, управляющие переменные и основные типы ограничений. Основной уклон делается в сторону рассмотрения основных производственных процессов: добыча, обогащение, переработка и производство; описания производственных процессов и их формализации в математическую постановку оптимизационной задачи с учетом технологической нормы производства, которая зависит от реализации инвестиционных проектов на поддержание и расширение. В конце статьи приводится пример расчета оптимизационной задачи для «ТНК Казхром» на периоде 2018-2019 гг., его параметры и особенности программного продукта, в котором реализована данная задача.

Ключевые слова. Оптимизационная задача, Казхром, ERG, основное балансовое соотношение, технологическая норма производства, производственные процессы.

В современном мире любая компания ставит перед собой цель и старается идти к ней эффективным способом. Однако если компания обладает огромным количеством активов, руководству компании не всегда удастся правильно обработать большой массив данных и принять оптимальное решение для достижения желаемого результата. Для решения данной проблемы можно использовать математический инструментарий и его реализацию в программном обеспечении.

Объектом исследования в этом случае должна быть группа компаний, которая имеет огромное количество активов и производственных процессов, направленные на производство широкого ассортимента продукции, пользующегося высоким спросом по всему миру.

Выбор пал на ведущую группу компаний в сфере добычи и разработке природных ресурсов, самого крупного производителя феррохрома, одного из основных производителей железной руды и глинозема в мире. Мы рассмотрим одну Группу компаний – Евразийскую группу (Eurasian Resources Group, ERG).

ERG является крупнейшим в мире производителем феррохрома по содержанию хрома; крупнейшим в Казахстане предприятием по добыче и переработке железной руды; одним из крупнейших в мире экспортеров железной руды; и девятым крупнейший производителем товарного глинозема по объёму в мире. Предприятия группы представляют собой треть горно-металлургического сектора Республики Казахстан [1].

В данной статье предприятия, входящие в Евразийскую группу, будут называться бизнес-единицами. Каждая бизнес-единица имеет различные подразделения (цеха, шахты и др.), которые будем называть рабочее место-товар (РМТ). На каждом РМТ закреплено определенное ключевое оборудование (станки, печи, автомобили и др.). Все бизнес-единицы

связаны между собой, так как, например, продукция одной бизнес-единицы может являться сырьем для другой бизнес-единицы. Поэтому, продукция может поставляться не только на внешние рынки, но и использоваться на внутреннем рынке (внутри ERG). У каждого ключевого оборудования есть инвестиционные проекты. Инвестиционные проекты могут быть как на поддержание (ремонт, техническое обслуживание), так и на расширение (покупка нового оборудования, увеличение производственных мощностей).

В данной статье будут описаны оптимизационная модель и производственные процессы для крупнейшей компании, входящей в Группу компаний ERG – «ТНК Казхром».

«Транснациональная компания «Казхром» представляет собой горно-металлургический кластер полного цикла, начиная от разведки недр, добычи полезных ископаемых и их обогащения и заканчивая металлургическим производством по выпуску продукции с высокой добавленной стоимостью. «ТНК «Казхром» является вторым производителем хромовых сплавов в мире по объемам производства и первой компанией в мире по качеству хромовой руды [2].

В ассортимент компании «ТНК «Казхром» входит следующая продукция:

- высоко-, средне- и низкоуглеродистый феррохром,
- ферросиликомарганец,
- ферросилиций,
- концентрат хромовой руды,
- концентрат марганцевой руды,
- окатыши и другая сопутствующая продукция [3].

Руководство компании «ТНК Казхром», входящей в Группу компаний ERG, преследует те же цели, что и руководство всей Группы компаний. Поэтому, в оптимизационной модели для компании «ТНК Казхром» в качестве *целевой функции* выступает та же максимизация суммы дисконтированного денежного потока:

$$CFCF_t = CFCE_{t-1} + FCF_t \cdot dis \zeta^{dt} \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$FCF_t = EBITDA_t - Capex_t, \quad (2)$$

где:

$CFCF_t$  – сумма дисконтированных свободных денежных потоков «ТНК Казхром» за период  $t$ ;

$FCF_t$  – свободный денежный поток «ТНК Казхром» за период  $t$ ;

$EBITDA_t$  – прибыль группы компаний до уплаты налогов, расходов на амортизацию и процентов по кредитам за период  $t$ ;

$Capex_t$  – сумма капитальных затрат, понесенных «ТНК Казхром» за период  $t$ .

*Управляющими переменными* выступают:

$V_{j,b,\mu,t}$  – объем производства продукции  $j$ -м рабочим местом на бизнес единицу  $b$ , рынок  $\mu$  за период времени  $t$ ,

$V_{j,b,t}$  – объем закупки сырья (готовой продукции рабочего места  $j$ ) на внешнем рынке для бизнес-единицы  $b$  за период времени  $t$ ,

$u_{i,t}$  – индикатор реализации  $i$ -ого инвестиционного проекта в момент времени  $t$ .

*Ограничения* модели объединятся в следующие типы ограничений:

- максимальный и минимальный объемы производства,
- максимальный и минимальный объемы сбыта,
- основное балансовое соотношение,
- логистические ограничения,
- ограничения на бюджет инвестирования,
- обязательность реализации инвестиционных проектов.

Целевой функционал и ограничения линейны. Подробное описание целевой функции, управляющих переменных и ограничений описаны в прошлой статье Пьянкова М.А., Симонова П.М. «Построение оптимизационной модели для группы многопрофильных предприятий» [4]. В данной статье большое внимание будет уделено производственным процессам на предприятии и дальнейшей формализации их в математической постановке.

Производственный процесс состоит из трех этапов.

- Добыча

Компания «ТНК «Казхром» обладает рудниками «Тур» и «Восточный Камыс», на которых добывается марганцевая руда, но перед добычей ведутся горно-подготовительные работы (ГПР) и снимается пласт пустой горной породы (вскрыши). Перед добычей хромовой руды аналогично марганцевой руде ведутся ГПР и снимается вскрыша, а затем на шахте «Молодежная», шахте «10 лет независимости Казахстана» и карьере «Южный» добывают саму руду двумя способами: методом обрушения и методом закладки [3]. Однако внутренних ресурсов для производства готовой продукции недостаточно, предприятию необходимо закупать некоторую продукцию. Например, бентонит и магнофлок для производства окатышей.

- Обогащение

На этапе обогащения марганцевая руда превращается в марганцевый концентрат, а хромовая руда – в хромовый концентрат, окатыши и брикеты, которые выступают как промежуточным продуктом для внутреннего производства, так и конечным продуктом для внешних рынков.

Данную функцию выполняют Рудуправление «Казмарганец» и Донской горно-обогатительный комбинат (ДГОК). Последний в свою очередь состоит из двух фабрик:

- Донская обогатительная фабрика (ДОФ),
- Фабрика обогащения и окомкования руды (ФООР).

Рассмотрим, производственные цепочки подробнее на этом этапе.

Хромовая руда, поступающая с рудников, карьеров и шахта попадает дробление на ДГОК и ФООР, в результате чего получаем руду двух классов 0-10 мм и 10-160 мм. Руда с низким содержанием хрома отправляется на обогащение. Далее обогащенная руда отправляется на переработку и на выходе мы имеем хромовый концентрат пяти классов: 0-3 мм, 0-5 мм, 3-10 мм, 5-10 мм и 10-160 мм. Также на этом на этапе производства мы получаем брикеты и окатыши [3].

- Переработка и производство

На этапе переработки и производства получаем конечные продукты: силикомарганец, феррохром, ферросиликохром, ферросилиций.

Для формализации производственных процессов в математическую постановку воспользуемся ограничением оптимизационной задачи – основным производственным соотношением [5]:

$$B_{j_1, b_2, t} + V_{j_1, b_2, \mu^*, t} = \alpha_{j_2, k, s, t} \left( \sum_{b \in BU_{j_2}} V_{j_2, b, \mu^*, t} + \sum_{\mu \in Market_{j_2}} V_{j_2, b^*, \mu, t} \right) \quad (3)$$

где:

$B_{j_1, b_2, t}$  – объем закупки готовой продукции  $j_1$ -го РМТ для бизнес единицы  $b_2$  за период времени  $t$ ;

$V_{j_1, b_2, \mu^*, t}$  – объем производства продукции  $j_1$ -го РМТ для бизнес-единицы  $b_2$  на внутренний рынок  $\mu^*$  за период времени  $t$ ;

$\alpha_{j_2, k, s, t}$  – технологическая норма расхода  $k$  сырья на  $j_2$ -м РМТ по  $s$ -й статье затрат за период времени  $t$ ;



$V_{j_2, b, \mu^*, t}$  – объем производства продукции  $j_2$ -го РМТ для бизнес-единицы  $b$  на внутренний рынок  $\mu^*$  за период времени  $t$ ;

$V_{j_2, b^*, \mu, t}$  – объем производства продукции  $j_2$ -го РМТ для бизнес-единицы  $b^*$  на внутренний рынок  $\mu$  за период времени  $t$ .

Ключевым показателем, отражающий технологию производства, является технологическая норма расхода сырья для производства единицы продукции следующего передела.

С годами оборудование стареет и его производственные возможности сужаются. Для того, чтобы это не произошло необходимо проводить текущий ремонт, капитальный ремонт или полное обновление путем закупки нового оборудования. Для этого в модели существуют инвестиционные проекты на поддержание и расширение, реализация которых позволяет поддерживать или увеличивать технологическую норму:

$$\alpha_{j_2, k, s, t}^* = \alpha_{j_2, k, s, t} + \left( \sum_{i_1 \in I_1} u_{i_1} \times \Delta \alpha_{j_2, i_1, k, t} + \sum_{i_2 \in I_2} \sum_{r \in T} u_{i_2, r} \times \Delta \alpha_{j_2, i_2, k, t} \right), \quad (4)$$

где:

$\alpha_{j_2, k, s, t}^*$  – технологическая норма расхода  $k$  сырья на  $j_2$ -м РМТ по  $s$ -й статье затрат за период времени  $t$ ,

$\alpha_{j_2, k, s, t}$  – технологическая норма расхода материала без влияния инвестиционной программы,

$\Delta \alpha_{j_2, i_1, k, t}$  – добавка к технологической норме расхода  $k$ -го сырья на  $j_2$ -м РМТ от реализации  $i_1$ -го инвестиционного проекта на поддержание за период времени  $t$ .

$\Delta \alpha_{j_2, i_2, k, t}$  – добавка к технологической норме расхода  $k$ -го сырья на  $j_2$ -м РМТ от реализации  $i_2$ -го инвестиционного проекта на расширение за период времени  $t$ .

Задав функционал, управляющие переменные, формализовав все производственные процессы в программном обеспечении Prognoz Platform 8.1 и запустив на расчет 2018-2019 гг., можем получить пример подбора оптимальных объемов производства и плана реализации инвестиционных проектов.

Характеристики расчета:

период расчета: 2 года (2018-2019 гг. в годовой динамике),

время расчета: 13-14 мин,

платформа реализации – Prognoz Platform 8.1,

расчетчик модели – Lindo API,

количество переменных – 5 400,

количество ограничений – 8 910.

Для тестирования мы не можем использовать реальные данные предприятия «ТНК Казхром» по соглашению о не раскрытии конфиденциальной информации. Поэтому, приведем пример расчета на тестовых данных.

В качестве цен на ресурсы 2018-2019 г.г. были взяты средние рыночные цены за 2017 год, проиндексированные на уровень инфляции в Казахстане.

Так как в задаче присутствует большое количество переменных, то мы не сможем привести значения всех управляющих переменных в таблице. Поэтому, фрагменты таблиц объемов производства промежуточной продукции для внутреннего потребления внутри Казхром и готовой продукции для экспорта на внешние рынки показаны в Таблица 1 и Таблица 2.

**Таблица 1 – Фрагмент таблицы объемов производства промежуточной продукции для внутреннего потребления внутри Казхром, тонн**

Рабочие места - Товары	2018	2019
ДГОК (ДНК) - ГПР и ГНР шахты ДНК	5,84	5,64
Карьер - Хромовая руда (Вскрыша)	300	290
Молодежная - Хромовая руда с ШМ	2 300,00	2 500,00
Фабрика ДОФ-1 - Дробленая хромовая руда бедная 0-10	671,87	680,78
Фабрика ДОФ-1 - Дробленая хромовая руда богатая 0-10	500	500
Фабрика ДОФ-1 - Хромовый концентрат (класс 0-3 мм) ДОФ-1	364,59	369,43
Фабрика ДОФ-1 - Хромовый концентрат (класс 3-10 мм) ДОФ-1	43,09	43,66
Фабрика ДОФ-1 - Брикетты	181,82	184,22
Упо-1 - Окатыши 1	600	600
Упо-2 - Окатыши 2	394,15	381,65
Условное смешивание - Окатыши	1 002,10	991,47
ТНК Казхром (вспомогательные цеха) - Прочая продукция/услуги	12	12

**Таблица 2 - Фрагмент таблицы объемов продукции для экспорта на внешние рынки, тонн**

Рабочие места - Товары	Внешний рынок	2018	2019
Аксуский завод (Цех 4) - Ферросиликохром 40	South Korea	0	3,5
	Europe	5,5	5,5
	США	7,26	9,42
	Япония	6	6
Аксуский завод (Цех 4) - Ферросилиций 75	Europe	10,06	10,06
	Казахстан	0,42	0,62
	США	22	22
Условное смешивание - ВУ Феррохром (АксуЗФ)	South Korea	56,72	56,72
	Europe	33,89	33,19
	Казахстан	0,04	5,06
	Китай	530,84	498,08
	Япония	263,14	263,14
	Дальний Восток	15,21	15,21
Актюбинский завод (Цех №2) - Низкоуглеродистый феррохром	South Korea	7,34	7,54
	Украина	1	1,1
	Europe	2,5	0,24
	Казахстан	0,4	0,36
	Япония	11,07	11,01
	Дальний Восток	0	0

Индикаторы реализации инвестиционных проектов в 2018-2019 г.г. для проектов на расширение отражены в таблице 3, а для проектов на поддержание в таблице 4.

**Таблица 3 - Фрагмент таблицы реализации инвестиционных проектов на расширение**

Инвестиционные проекты на расширение	2018	2019
Автосамосвал БелАЗ - 7547 Q=45т		1
Кондиционер настенный сплит - система ELENBERG MST-07HR		1
Коробка передач для погрузчика Mega-400	1	

Мост задний 211-00131А для погрузчика Mega-400		1
Мост передний 211-00130А для погрузчика Mega-400	1	
Ходовая часть бульдозера САТ D9R хоз.№180.	1	
Электронасос погрузной ГНОМ		1
Ходовая часть экскаватора НІТАСНІ ZX850-3 хоз.№194.		1
Двигатель внутреннего сгорания модель DE12ТІА, мощность 210квт для погрузчика Mega 400-V	1	

**Таблица 4- Фрагмент таблицы реализации инвестиционных проектов на поддержание**

Инвестиционные проекты на поддержание	2018	2019
Капитальный ремонт Автосамосвал БелАЗ - 7547 Q=45т	1	
Капитальный ремонт котельной (замена 2-х котлов) на ст. Центральная		1
Капитальный ремонт ремонтно-механических мастерских на р. Тур		1
Капремонт двигателя для экскаватора НІТАСНІ 850-3 хоз. №198		1
Реконструкция промывочной установки на р. Тур	1	

Сумма дисконтированного свободного денежного потока для предприятия «ТНК «Казхром» составит 501 552 923,24 тенге за период времени 2018-2019 г.г.

Исходя из этого, мы можем сделать вывод, что постановка оптимизационной задачи и реализация модели в программном обеспечении, во многом упрощает процесс принятия решений и нивелирует риски принятия ошибочных решений, так как на выходе руководство имеет оптимальный план производства для максимизации суммы дисконтированных денежных потоков.

#### **Библиографический список**

1. Виды продукции предприятий Группы. URL: <http://www.erg.kz/ru/content/deyatelnost/vidy-produkcii-predpriyatiy-gruppy/> (дата обращения: 01.04.2018).
2. Кадровые изменения в ENRC. URL: <http://www.matritca.kz/top/6804-v-enrc-proizoshli-kadrovye-izmeneniya.html/> (дата обращения: 01.04.2018).
3. Краткая информация о Евразийской Группе. URL: <http://www.erg.kz/ru/content/okompanii/> (дата обращения: 01.04.2018).
4. *Пьянков М.А. Симонов П.М.* Построение оптимизационной задачи для группы многопрофильных предприятий // IX Всероссийская научная конференция "Математическое моделирование развивающейся экономики, экологии и технологий", ЭКОМОД-2016. г. Киров, 4- 9 июля 2016 / Сб. материалов конф. / под ред. И.Г. Поспелова и А.В. Шатрова. Киров: Изд-во ВятГУ, 2016. С. 141–145.
5. *Дедов О.А.* Управление крупным многопрофильным промышленным предприятием – от проблем к решению // Проблемы региональной экономики. Ижевск, 2002. № 4-6. С. 409–419.

## **CONSTRUCTION OF OPTIMIZATION MODEL FOR ONE OF THE LARGEST PRODUCERS OF CHROME ALLOYS IN THE WORLD**

*Pyankov Mikhail A., Simonov Pyotr M.*

Perm State University, 2a, Dzerzhinskogo st., Perm, 614990, Russia, pyankov.psu@yandex.ru

In this article there is a brief description of the optimization task for TNK Kazchrom, the largest company in the ERG Group and one of the largest producers of chrome alloys in the world. The objective function, control variables and basic types of constraints are considered. The main bias is towards the consideration of the main production processes: extraction, enrichment, processing and production; description of production processes and their formalization in the mathematical formulation of the optimization task, taking into account the technological standard of production, which depends on the implementation of investment projects to maintain and expand. At the end of the article, an example is given of calculating the optimization task for TNK Kazchrom for the period 2018-2019, its parameters and the features of the software product in which this task is implemented.

**Keywords.** Optimization task, Kazchrom, ERG, the main balance ratio, the technological norm of production, production processes.

## ПРОБЛЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ТОЛЕРАНТНЫХ ИНТЕРВАЛОВ В СЛУЧАЕ ДВУХПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОТРИЦАТЕЛЬНОГО БИНОМИАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

*Федорук Мария Николаевна, Чичагов Владимир Витальевич*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, mf1808@mail.ru

В статье рассмотрена задача построения толерантного интервала в случае двухпараметрического отрицательного биномиального распределения. Представлены две различные формы описания двухпараметрического отрицательного биномиального распределения, приводятся примеры применения этого распределения в различных естественнонаучных, социальных и иных прикладных исследованиях. Обосновывается утверждение, устанавливающее монотонное возрастание функции распределения данного закона распределения относительно каждого из параметров. На основе этого результата с использованием метода параметрический бутстрап предложен алгоритм построения толерантного интервала для случайной величины, имеющей двухпараметрическое отрицательное биномиальное распределение, согласно которому на первом шаге находится доверительная область в форме прямоугольника, а на втором – вычисляется толерантный интервал. Также в работе представлен алгоритм нахождения доверительной области, основывающийся на использовании оценок максимального правдоподобия неизвестных параметров отрицательного биномиального распределения.

Ключевые слова: двухпараметрическое отрицательное биномиальное распределение, толерантный интервал, бутстрап.

Двухпараметрическое отрицательное биномиальное распределение часто используется в качестве вероятностной модели в различных естественнонаучных, социальных и иных прикладных исследованиях. Так, например, в [1] это распределение использовалось для оценки количества матерей, родивших младенцев с нормальным весом при рождении (например,  $\geq 2500$  г), которое необходимо осмотреть для того, чтобы отобрать из них пятерых с врожденной болезнью сердца. Эта же модель использовалась для оценки трудоемкости переписи населения США. В [2] в качестве случайных величин, имеющих отрицательное биномиальное распределение, рассматривалось количество опухолей, возникших у экспериментальной крысы, количество вредителей на листьях яблок. Кроме того, данное распределение используется в качестве альтернативы пуассоновскому распределению в задачах страховой математики.

Дисперсионная форма двухпараметрического отрицательного биномиального распределения  $NB(m, c)$  определяется следующим выражением:

$$P(X = x; m, c) = \frac{\tilde{A}(x+1/c)}{x! \tilde{A}(1/c)} \left( \frac{cm}{1+cm} \right)^x \left( \frac{1}{1+cm} \right)^{1/c}, \quad x=0, 1, 2, \dots,$$

где  $m = \mathbf{E}[X]$ ,  $c = \mathbf{D}[X] > 0$ . При  $c \rightarrow 0$  данное распределение сходится к распределению Пуассона с параметром  $m$ .

Нам также потребуется другая параметризация двухпараметрического отрицательного биномиального распределения  $NegBin(p, c)$ :

$$\mathbf{P}(X = x | p, c) = \frac{\tilde{A}(x+1/c)}{\tilde{A}(1/c)x!} p^{1/c} (1-p)^x, \text{ где } p = \frac{1}{1+cm}.$$

Одной из основных задач, связанных со статическим анализом данных, извлеченных из генеральной совокупности  $NB(m, c)$  ( $NegBin(p, c)$ ), является построение толерантного интервала для случайной величины  $Y$ , имеющей распределение этого же вида. С содержательной точки зрения речь идет о построении прогноза для будущего значения случайной величины, имеющей двухпараметрическое отрицательное биномиальное распределение.

В [3] дано следующее определение толерантному интервалу.

**Определение.** Толерантным интервалом для случайной величины  $Y$ , имеющей функцию распределения  $F_Y(y; \theta)$  с параметром  $\theta$ , называют интервал  $[L, U]$ , содержащий долю  $P$  этого распределения с заданной вероятностью  $\gamma = 1 - \alpha$ .

Наиболее полное изложение математической теории, связанной с построением толерантных интервалов и областей можно найти в [3].

В статье [2] предложено решение задачи построения отрицательного биномиального толерантного интервала при известном значении параметра  $c$ , следуя алгоритму.

1. Основываясь на выборке, строим для  $\theta$  двусторонний доверительный интервал  $\theta_L, \theta_U$  с надежностью  $\gamma$ .
2. Для будущего значения  $Y$  находим минимальное целое число  $U$  и максимальное целое число  $L$ , решая неравенства

$$1 - F_Y(L; \theta_U) \geq \frac{1+P}{2} \text{ и } F_Y(U; \theta_L) \geq \frac{1+P}{2} \text{ соответственно,}$$

если  $F_Y(y; \theta)$  – возрастающая функция относительно параметра  $\theta$ .

Поскольку в нашем случае имеются 2 неизвестных параметра, то описанный алгоритм требует небольшой корректировки: на первом шаге находим  $\gamma$ -доверительную область для вектора параметров  $(m, c)$  в форме прямоугольника  $D = \{(m, c) : m_L \leq m \leq m_U, c_L \leq c \leq c_U\}$ , а на втором шаге находим толерантный интервал  $[L, U]$ , определяя минимальное целое число  $U$  и максимальное целое число  $L$ , для которых неравенства

$$1 - F_Y(L; m, c) \geq \frac{1+P}{2} \text{ и } F_Y(U; m, c) \geq \frac{1+P}{2},$$

где  $F_Y(L; m, c) = \sum_{x=0}^L \mathbf{P}(X = x; m, c)$ , выполняются для всех  $(m, c) \in D$ .

Одну из основ предложенного алгоритма нахождения толерантного интервала составляет следующее утверждение.

**Теорема.** Функция  $F_Y(y | p, c)$  распределения  $NegBin(p, c)$ , определяемая формулой

$$F_Y(y | p, c) = \sum_{x=0}^y \mathbf{P}(X = x | p, c),$$

является возрастающей относительно параметров  $p$  и  $c$ .

Данное нами утверждение доказывалось следующим образом: возрастание функции  $F_Y(y | p, c)$  относительно параметра  $p$  установлен ранее (см. [2]), также можно обосновать монотонное возрастание по второму параметру  $c$ , опираясь на свойство воспроизводимости отрицательного биномиального распределения.

Наиболее сложной задачей является нахождение доверительной области  $D$ .

Для решения этой задачи сначала генерируются бутстрап–выборки из генеральной совокупности  $NB(\hat{m}, \hat{c})$ , где  $\hat{m}, \hat{c}$  – точечные оценки неизвестных параметров  $m$  и  $c$ , определяемые по исходной выборке с использованием метода максимального правдоподобия согласно [4]. Затем значение оценки максимального правдоподобия параметров  $m$  и  $c$  вычисляется для каждой бутстрап–выборки. На заключительном этапе на основе выборки из значений оценок максимального правдоподобия находится область  $D$  минимальной площади, внутри которой находится доля оценок, по крайней мере равная  $\gamma$ .

### Библиографический список

1. Weissberg A., Beatty G. Tables of Tolerance Limits Associated with Engineering Models// Technometrics, 1969. – P. 483–500.
2. Derek S. Young. A procedure for approximate negative binomial tolerance intervals// Journal of Statistical Computation and Simulation, 2014. V.84, №5. – P. 438–450
3. Krishna K. Saha, Sudhir R. Paul. Interval estimation of the negative binomial dispersion parameter// Journal of Statistical Computation and Simulation, 2011. V.81, №12. – P.1–10
4. Hongsheng Dai, Yanchun Bao, Mingtang Bao. Maximum likelihood estimate for the dispersion parameter of the negative binomial distribution// Journal of Statistics and Probability Letters, 2013. V.83, №1. – P.21–27

## THE PROBLEM OF CONSTRUCTING TOLERANCE INTERVALS IN THE CASE OF THE TWO-PARAMETER NEGATIVE BINOMIAL DISTRIBUTION

*Fedoruk Maria N., Chichagov Vladimir V.*

Perm State University, Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990, mf1808@mail.ru

The article deals with the problem of constructing a tolerant interval in the case of two-parameter negative binomial distribution. Two different forms of description of two-parameter negative binomial distribution are presented, examples of application of this distribution in various natural science, social and other applied researches are given. A monotonic increase in the distribution function of the distribution law for each of the parameters is proved. Based on this result using the parametric bootstrap method, an algorithm is proposed for constructing a tolerant interval for a random variable having a two-parameter negative binomial distribution, according to which the confidence area in the form of a rectangle is located at the first step, and the tolerant interval is calculated at the second step. An algorithm for finding the confidence domain based on the use of estimates of the maximum likelihood of unknown parameters of the negative binomial distribution is presented.

Keywords: two-parameter negative binomial distribution, tolerance interval, bootstrap.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ КЛАСТЕРОВ БАКТЕРИЙ РОДА RHODOCOCCLUS В ПРИСУТСТВИИ УГЛЕВОДОРОДА

*Феоктистова Екатерина Валерьевна, Осипенко Михаил Анатольевич,*

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614000, Россия,  
г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, Ekaterina\_feoktistova@bk.ru,

*Куюкина Мария Станиславовна, Ившина Ирина Борисовна*

Институт Экологии и Генетики Микроорганизмов УрО РАН, 614081, Россия, г. Пермь, ул.  
Голева, д. 13, kuyukina@iegm.ru

Разработаны детерминированная и вероятностная модели для прогнозирования нестабильного поведения бактерий рода *Rhodococcus*, а также предложена модель формирования биоплёнки родококками на границе раздела фаз: клеточная суспензия и жидкий углеводород. В предложенной математической модели своеобразная временная зависимость межфазного натяжения объясняется лавинообразным возникновением единого кластера клеток, что в отсутствие измерений привело бы к скачкообразному уменьшению межфазного натяжения, а в присутствии измерительного кольца приводит к случайным осцилляциям натяжения за счет случайного взаимодействия кольца с пленкой бактерий. Данная прикладная модель предполагает дальнейшее развитие в уточнении вероятностных характеристик при продолжении экспериментов по изучению начальных стадий формирования биопленок бактериями рода *Rhodococcus*.

Ключевые слова: *Rhodococcus*, бактериальная пленка, межфазное натяжение, математическая модель, метод Монте-Карло.

Актинобактерии рода *Rhodococcus* являются представителями группы экологически значимых микроорганизмов, окисляющих природные и антропогенные углеводороды и, следовательно, участвующих в разнообразных биогеохимических процессах и формировании углеводородной атмосферы Земли [1].

Бактерии рода *Rhodococcus* способны к окислению углеводородов нефти, смол, фенольных и полихлорированных соединений, гумусовых веществ, лигнина и его производных, восков, пестицидов и др. Некоторые родококки способны усваивать газообразные углеводородные соединения. Так же способность родококков разлагать различные ксенобиотики эффективно используется в природоохранных целях; на основе представителей *Rhodococcus* spp. создаются различные биопрепараты для биоремедиации земель и воды [2].

Реализация биотехнологического потенциала родококков предусматривает всестороннее изучение механизмов их адгезии к различным углеводородам. При этом характерным явлением, которое в настоящее время интенсивно исследуется, оказывается формирование биопленок [3], в особенности на границе раздела жидких фаз [4–5]. В частности, нами изучаются закономерности адгезии клеток родококков к жидким *n*-алканам. С помощью установки Sigma 701 проведен эксперимент по измерению методом отрыва



кольца межфазного натяжения в системе «н-гексадекан – клеточная суспензия *R. ruber* ИЭГМ 123». Эксперимент показывает, что с течением времени межфазное натяжение в среднем уменьшается (за счет адгезии клеток к межфазной границе), но в определенном временном интервале его изменение имеет случайный, быстроосциллирующий характер.

Целью настоящей работы является построение теоретического объяснения этой своеобразной зависимости.

Предполагается, что концентрация клеток на межфазной границе  $n(t) = n_1(1 - \exp(-t/t_1))$ , где  $t$  – время;  $n_1$ ,  $t_1$  – постоянные. Межфазное натяжение  $\sigma(t) = \sigma_0 - (\sigma_0 - \sigma_1(s(n(t))))n(t)/n_1$ , где  $\sigma_1(s) = \sigma_{10} - (\sigma_{10} - \sigma_{11})s$ ;  $0 \leq s(n) \leq 1$  – случайная величина (степень образования единой биопленки) со средним значением и среднеквадратическим отклонением, соответственно,

$M_s(n) = 1/2 + (1/\pi) \arctg((n - n_2)/n_3)$ ,  $\sqrt{D_s(n)} = An^{2B}(1-n)^B$ , где  $\sigma_0$ ,  $\sigma_{10}$ ,  $\sigma_{11}$ ,  $n_2$ ,  $n_3$ ,  $A$ ,  $B$  – постоянные. Построенная модель адекватно описывает экспериментальные данные (рис.1); соответствующая теоретическая зависимость приведена на рисунке (более тонкая линия, не проходящая непосредственно через точки).

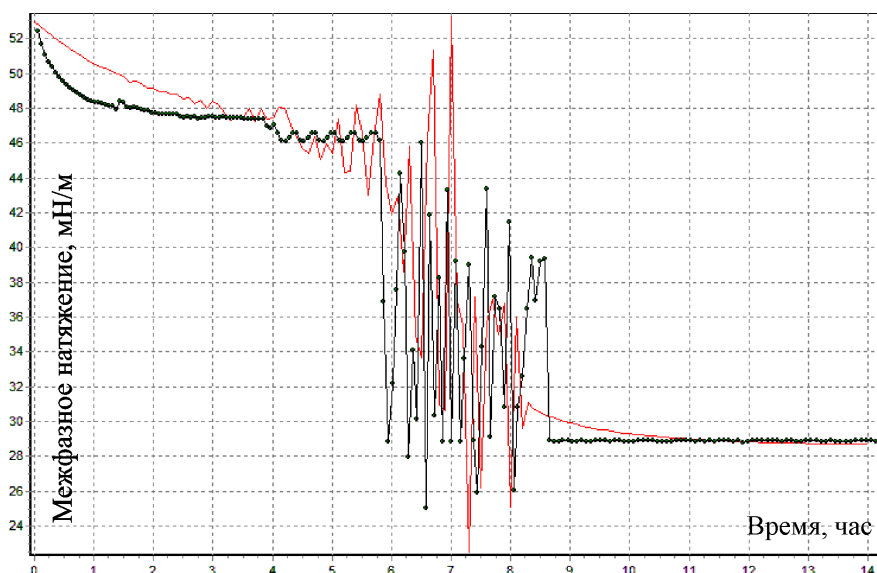


Рис 1. Зависимость межфазного натяжения от времени

По мере накопления клеток на межфазной границе, межфазное натяжения постепенно уменьшается. При достаточно большой концентрации возникают качественно новые явления. Во-первых, за счёт межклеточного взаимодействия формируются клеточные кластеры (рис. 2), которые при некотором критическом значении концентрации объединяются в один кластер.

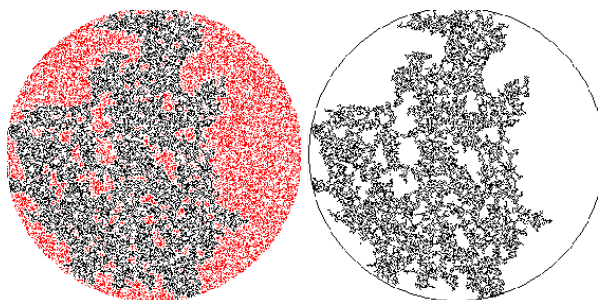
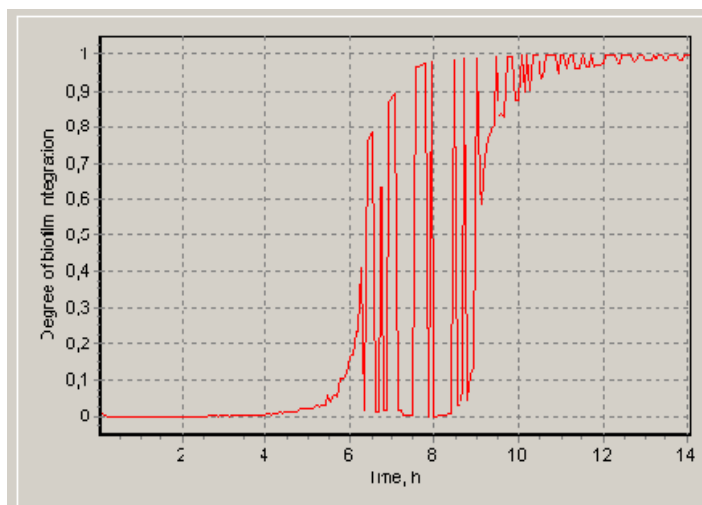


Рис. 2: скопление бактерий (слева); наибольший кластер (справа)

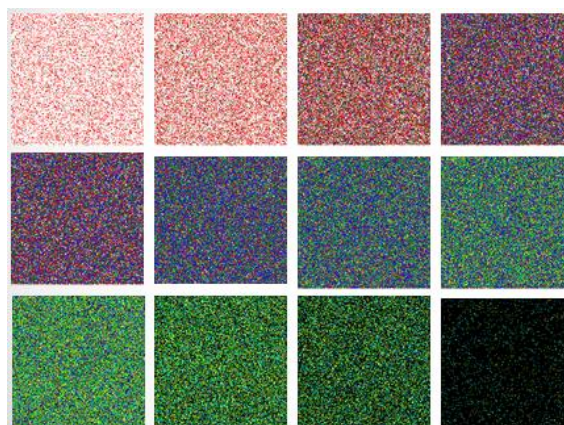
Во-вторых, измерительное кольцо при каждом измерении случайным образом разрушает этот кластер. В отсутствие измерений межфазное натяжение снижалось бы плавно. При наличии разрушения межфазное натяжение меняется случайно и скачкообразно (рис. 3).



**Рис 3. Степень разрушения кольцом пленки бактерий**

При дальнейшем увеличении концентрации кольцо уже не может разрушить кластер, и возобновляется плавное снижение межфазного натяжения. Практически моделирование указанных случайных процессов проводилось методом Монте-Карло.

В данной работе предложена теория перемещения бактерий в жидкой субстанции, которая основана на возможном проявлении эффекта Марагонди. И рассмотрена теория, о возможном наложении слоев бактерий (рис. 4)



**Рис. 4. Возможное распределение слоёв бактерий в системе вода-бактерии-углеводород.**

Результаты. Полученная математическая зависимость полностью соответствует имеющимся экспериментальным данным.

Вывод. Проведено моделирование данных эксперимента, но модель допускает дальнейшее развитие, которое должно состоять в уточнении механизма межклеточного взаимодействия, приводящего к образованию бактериальных кластеров.

### Библиографический список:

1. *Ившина И.Б., Пшеничников Р.А., Оборин А.А.* Пропан-окисляющие родококки. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987, 125 с.
2. *Kuykina M.S., Ivshina I.B.* Application of Rhodococcus in bioremediation of contaminated environments // *Microbiology Monographs* / Ed. A. Steinbuchel. – Springer-Verlag, Dordrecht, London, New York, 2010. – Vol. 16. – P. 231-262.
3. *Николаев Ю.А., Плакунов В.К.* Биопленка – «город микробов» или аналог многоклеточного организма? // *Микробиология*, 2007, Т.76, № 2, С. 149–163.
4. *Kang Z., Yeung A., Foght J.M., Gray M.R.* Mechanical properties of hexadecane–water interfaces with adsorbed hydrophobic bacteria // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 62 (2008), P. 273–279.
5. *Kang Z., Yeung A., Foght J.M., Gray M.R.* Hydrophobic bacteria at the hexadecane–water interface: examination of micrometre scale interfacial properties // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 67 (2008), P. 59–66

### MODELING OF FORMATION AND DESTRUCTION OF CLUSTERS OF BACTERIA OF THE GENUS RHODOCOCCUS IN THE PRESENCE OF HYDROCARBON

*E.V. Feoktistova, M.A. Osipenko,*

Perm National Research Polytechnic University, 614000, Russia, Perm, Komsomolsky Prospect, 29,  
Ekaterina\_feoktistova@bk.ru,

*M.S. Kuyukina, E.V. Rubtsova*

Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms, Ural Branch of RAS, 614081, Russia, Perm,  
ul. Goleva, 13, kuyukina@iegm.ru

A number of mathematical models are considered. The creation of deterministic and probabilistic models for the unstable behavior of bacteria of the genus *Rhodococcus* is described, as well as a model for the formation of a film of bacteria of the genus *Rhodococcus* at the interface between a cell suspension and a liquid hydrocarbon. In the proposed mathematical model, the peculiar time dependence of the interfacial tension is explained by the avalanche-like occurrence of a single cluster of cells, which in the absence of measurements would lead to a jumplike decrease in the interfacial tension, and in the presence of the measuring ring leads to random oscillations of tension due to the random interaction of the ring with the bacterial film. This model assumes a further development in the refinement of probabilistic characteristics. The model was created to explain the experiment provided by IEMM UB RAS from the point of view of applied sciences.

Keywords: *Rhodococcus*, bacterial film, interfacial tension, mathematical model, Monte Carlo method.

## РАСЧЕТ ДОЗИРОВКИ ИНСУЛИНА ДЛЯ БОЛЬНЫХ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*Чусовлянкин Алексей Александрович*

Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”, 614070, Россия, г. Пермь, ул. Студенческая, 38, lxxich@mail.ru

Работа посвящена применению искусственных нейронных сетей для расчета дозировки инсулина. Решаемая задача является оптимизационной в многомерном дискретном пространстве. Необходимо вычислить дозу инсулина для больного сахарным диабетом. Дозировка инсулина может зависеть от различных персональных характеристик пациента. На сегодняшний день не существует общепризнанного алгоритма для расчета дозировки инсулина. Пациент вручную определяет дозу инсулина исходя из личной накопленной статистики и рекомендаций врача.

Ключевые слова: нейросети, сахарный диабет.

**Введение.** Сегодня диабетом страдает более 450 миллионов человек на планете, это примерно 6 % населения земного шара. Данное заболевание актуально в наши дни так как, по прогнозам, к 2040 году, по расчетам международной федерации диабета, этот диагноз будет у 642 миллионов человек [1,2]. На сегодняшний день некоторые больные сахарным диабетом вычисляют необходимую дозировку инсулина вручную, бессистемно. Ранее автором были рассмотрены методы классификации и регрессионного анализа для расчета дозировки, которые показали среднюю относительную погрешность от 20% до 50% для разных пациентов [3,4].

В работе для решения данной задачи предлагается использовать искусственные нейронные сети. Для работы алгоритма необходимы данные из дневника самоконтроля пациента, который содержит информацию об уровне глюкозы в крови, дозировке инсулина и количестве употребленных хлебных единиц в определенные часы.

**Проектирование.** Задача нейросети – на основе полученных данных о пациенте вычислять единственный параметр: дозировку инсулина. Известны следующие входные параметры (которые получены из дневника самоконтроля):

- 1) текущий уровень глюкозы в крови до еды (от 1,5 до 20,0);
- 2) количество употребленных хлебных единиц (ХЕ) во время еды (от 0 до 20);
- 3) время введения дозы инсулина (от 0:00 до 23:59);
- 4) доза инсулина (от 0 до 20);
- 5) уровень глюкозы через 3-4 часа после еды (от 1,5 до 20,0).

**Разработка** нейросети выполнена с помощью интерактивной оболочки IPython. Использованы библиотеки Tensorflow, Keras, Sklearn. Наиболее качественные результаты по прогнозированию дозы инсулина были продемонстрированы на нейросетях с двумя скрытыми слоями. На первом слое предлагается использовать от 4 до 8 нейронов с выпрямленной линейной функцией активации (rectified linear unit), которая позволяет приблизить нелинейные зависимости [5]. На втором слое используется 2 нейрона с функцией softplus. Обучение нейросети проходит с помощью оптимизатора adam (adaptive moment estimation). Следует отметить, что для каждого пациента необходимо заново запускать

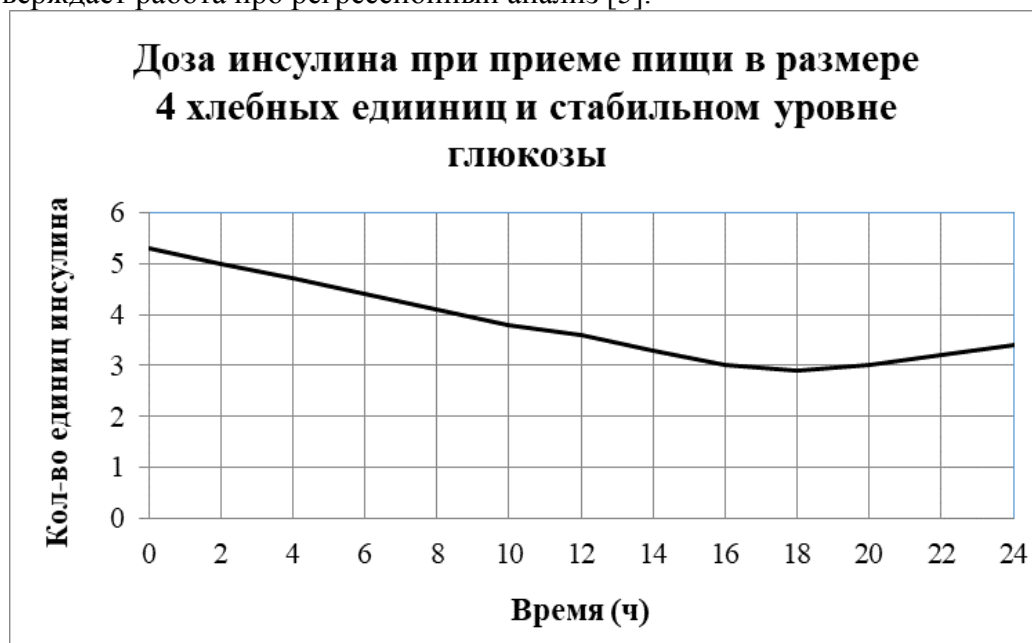
нейросеть, поэтому объемы входных данных относительно небольшие (от 20 до 70 записей), что позволяет нейросети обучиться за 100 эпох.

**Тестирование** нейросети было проведено на основе дневников самоконтроля 4 пациентов с записями за 3-4 недели. Исходные данные были разделены на две выборки – для обучения алгоритмов и для прогнозирования в отношении два к одному. Проводится сравнение результатов нейросети с градиентным спуском для регрессии. Результаты прогнозирования доз инсулина представлены в таблице. 1.

**Таблица 1. Результаты прогнозирования нейросети**

Пациент	Объем выборки для обучения	Нейросети			Градиентный спуск		
		Сред. кв. откл.	Сред. отн. погр. (%)	Кол-во точных дозировок (%)	Сред. кв. откл.	Сред. отн. погр. (%)	Кол-во точных дозировок (%)
№1	22	3,2	11,8	54	3,5	22,2	36
№2	34	1,5	25,6	39	1,3	31,4	38
№3	45	5,9	17,8	35	11,8	27,7	22
№4	68	1,7	13,7	35	1,5	12,7	26

Результаты демонстрируют среднюю относительную погрешность от 35% до 54%, что подтверждают применимость нейросетей к данной задаче. Следует отметить, что в предыдущих работах для некоторых пациентов методы классификации и регрессионного анализа демонстрирует точность прогнозирования хуже, чем нейросети [3,4]. При исследовании зависимостей дозы инсулина от входных параметров было обнаружено, что для большинства пациентов доза инсулина зависит от уровня глюкозы и объема пищи линейно. Данные факты подтверждают практики врачей [6]. Также следует отметить нелинейную зависимость дозы инсулина от времени суток для некоторых пациентов (Рис.), что подтверждает работа про регрессионный анализ [5].



**Рис. Зависимость дозы инсулина от времени суток**

**В заключение** необходимо отметить, что в рамках данного исследования разработана нейросеть с двумя скрытыми слоями, которая рассчитывает дозу инсулина на основе накопленной статистике пациента. Анализ работы алгоритмов показал применимость подхода к данной задаче, поскольку средняя относительная погрешность ниже, чем у

сравниваемого алгоритма градиентного спуска. Надежность полученных результатов требует проверки на других пациентах. Практическая значимость работы состоит в том, что предложенный подход можно внедрить в приложение, которое позволило бы пациенту получать рекомендацию по расчету дозировки инсулина без обращения к врачу.

### Библиографический список

1. IDF DIABETES ATLAS [Электронный ресурс] // Seventh edition International. Diabetes Federation. URL: <http://www.idf.org/about-diabetes/facts-figures> (Дата обращения: 24.03.2018).
2. Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications / Part 1: Diagnosis and classification of diabetes mellitus. World Health Organization, Geneva, 1999. Report Number: WHO/NCD/NCS/99.2.
3. Чусовлянкин А. А. Алгоритмы расчета дозировки инсулина для больных сахарным диабетом / А. А. Чусовлянкин, В. В. Морозенко // Математика и междисциплинарные исследования – 2017. Материалы Всеросс. науч.-практ. конф. молодых ученых с международным участием, Т. 1. – Пермь: ПГНИУ, 2017. – С. 224-229.
4. Чусовлянкин А. А. Алгоритм k-ближайших соседей для расчета дозировки инсулина // SCM'2017. Сборник докладов международной конф. по мягким вычислениям и измерениям. – СПб.: ЛЭТИ, 2017. – С. 591-593.
5. Соколов Е. Семинары по нейронным сетям [Электронный ресурс] // MachineLearning. URL: [http://www.machinelearning.ru/wiki/images/1/1e/Sem07\\_ann.pdf](http://www.machinelearning.ru/wiki/images/1/1e/Sem07_ann.pdf) (Дата обращения: 24.03.2018).
6. Кадомский Ю. Точная инсулиноterapia сахарного диабета 1 типа. Практика точного расчета дозы инсулина [Электронный ресурс] // Библиотека Диа-Клуба. URL: <http://juri.dia-club.ru/index.php> (Дата обращения: 24.03.2018).

### INSULIN DOSAGE CALCULATOR FOR DIABETICS BY NEURAL NETWORK

*Chusovliankin Aleksei A*

National Research University Higher School of Economics, st. Studencheskaya, 38, Perm, Russia, 614070, [lixich@mail.ru](mailto:lixich@mail.ru), [v.morozenko@mail.ru](mailto:v.morozenko@mail.ru)

The article is devoted to neural network for calculating insulin dosage. For a patient with diabetes it is required to calculate find a dosage constantly. The development of neural network with high-quality precision would help maintain glucose levels in the norm. Nowadays, patients calculate the dose of insulin manually based on the accumulated statistics and recommendations of their doctors. The scientific novelty is that a new approach is proposed for calculating the dose of insulin.

Keywords: neural network, diabetes.

**4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ПРОГРАММНО-  
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА В ЕСТЕСТВЕННЫХ И  
ГУМАНИТАРНЫХ НАУКАХ**

## РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ

*Абашев Михаил Андреевич*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, [misch.abashev30@gmail.com](mailto:misch.abashev30@gmail.com)

В статье описана разработка горизонтально масштабируемой, расширяемой архитектуры системы обнаружения вторжений. Проведен сравнительный анализ существующих аналогов: программных и программно-аппаратных комплексов. На основе анализа выявлены общие недостатки существующих систем и сформулированы требования к разрабатываемой системе. Предложена архитектура, удовлетворяющая этим требованиям, и реализован прототип системы обнаружения вторжений. В разработанном прототипе используется нейросетевой метод обнаружения вторжений.

Ключевые слова: сетевые атаки, система обнаружения вторжений, сервис-ориентированная архитектура.

Проблемы информационной безопасности с каждым годом становятся все актуальнее: увеличение объемов обрабатываемой информации, количества различных информационных систем и их масштабов ведет к возникновению новых вызовов, связанных с функционированием компьютерных сетей. Так, в результате атаки на крупного американского DNS-оператора Dyn DNS, проведенной 21 октября 2016 года, возникли проблемы с доступом ко многим веб-сайтам, в частности: Twitter, Etsy, Github, Soundcloud, Spotify, Heroku, и другие [1]. Поэтому защита данных в компьютерных сетях становится одной из самых острых проблем в области компьютерной безопасности.

Для защиты сетевой инфраструктуры предприятия применяются различные средства: межсетевые экраны, системы обнаружения вторжений, системы предотвращения вторжений, VPN, шифрование трафика и т.д. В данной работе будут рассмотрены системы обнаружения вторжений.

Обнаружение вторжений можно определить как процесс идентификации событий, происходящих в вычислительной сети или системе, их анализ на наличие признаков нарушения политики безопасности и попытки поставить под угрозу конфиденциальность, целостность, доступность, или обойти механизмы безопасности хоста или сети [2].

Обнаружение вторжений реализуют 2 типа систем:

1. Система обнаружения вторжений (англ. Intrusion Detection System - IDS) — программное или аппаратное средство, предназначенное для выявления фактов неавторизованного доступа в компьютерную систему или сеть либо несанкционированного управления ими в основном через Интернет.
2. Система предотвращения вторжений (англ. Intrusion Prevention System - IPS) — программная или аппаратная система сетевой и компьютерной безопасности, обнаруживающая вторжения или нарушения безопасности и автоматически защищающая от них.

Системы обнаружения вторжений могут быть реализованы в виде программного обеспечения или в виде программно-аппаратных комплексов. Наиболее популярными



разработками на рынке программных систем обнаружения и предотвращения вторжений являются системы Snort и Suricata.

Snort является сетевой системой обнаружения атак (IDS) с открытым исходным кодом, которая способна выполнить в реальном времени анализ IP-пакетов, передаваемых на контролируемых интерфейсах. Snort обнаруживает атаки, комбинируя два метода: сигнатурный и анализ протоколов [3]. В 2009 году несколько частных компаний и US Department of Homeland Security создали организацию Open Information Security Foundation (OISF), основной из задач которой было финансирование и разработка многопоточной альтернативы Snort, получившей название Suricata. Suricata работает в многопоточном режиме, позволяющем оптимально использовать несколько CPU [4].

В процессе изучения существующих программных решений была составлена сравнительная таблица (Таблица 1).

**Таблица 1. Сравнение программных систем обнаружения вторжений**

<b>Параметры сравнения</b>	<b>Snort</b>	<b>Suricata</b>
Метод обнаружения	Сигнатурный	Сигнатурный
Централизованное управление	Есть	Есть
Возможность интеграции с системами реагирования	Есть возможность написания собственных плагинов	Есть возможность написания собственных плагинов

Помимо программных систем были рассмотрены программно-аппаратные комплексы, в таблице 2 представлены результаты сравнения наиболее популярных решений.

**Таблица 2. Сравнение программно-аппаратных систем обнаружения вторжений**

<b>Параметры сравнения</b>	<b>IBM Security Network Intrusion Prevention System</b>	<b>VipNet IDS</b>	<b>StoneGate IPS</b>	<b>Check Point IPS</b>
Метод обнаружения	Сигнатурный, поведенческий анализ	Сигнатурный	Сигнатурный, эвристический	Сигнатурный, эвристический
Централизованное управление	Есть	Нет	Есть	Есть
Возможность интеграции с системами реагирования	Система реагирования входит в поставку	Есть возможность интеграции с продуктом VipNet StateWatcher	Есть интеграция с другими продуктами этого производителя	Встроенная система предотвращения вторжений

В основном, на рынке представлены программно-аппаратные комплексы, обладающие следующими недостатками:

1. Ограничения по масштабированию
2. Проприетарные программные средства, которые трудно или невозможно расширять, модифицировать

3. Используют единственный метод анализа (как правило, сигнатурный), невозможно реализовать другие

4. Отсутствие явных возможностей интеграции с внешними системами мониторинга (как правило, если возможность интеграции есть, то с продуктами этого же производителя)

На основе проведенного сравнительного анализа существующих аналогов, был составлен список требований к разрабатываемому решению, которые могут стать конкурентными преимуществами:

1. Широкие возможности горизонтального масштабирования
2. Возможность интеграции с системами мониторинга и реагирования
3. Возможность написания и интеграции модулей, реализующих различные методы обнаружения атак
4. Отказоустойчивость

Таким образом, цель данной работы была сформулирована следующим образом: разработать архитектуру системы обнаружения вторжений, удовлетворяющую перечисленным требованиям.

Для разработки архитектуры был выбран сервис-ориентированный подход, также известный, как SOA. Сервис-ориентированная архитектура (SOA, англ. service-oriented architecture) — модульный подход к разработке программного обеспечения, основанный на использовании распределенных, слабо связанных заменяемых компонентов, оснащенных стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам [5].

Схема разработанной архитектуры представлена на рисунке:



**Рис. Архитектура разрабатываемого решения**

API (программный интерфейс приложения, англ. application programming interface) - сервис, взаимодействующий с хранилищем напрямую и предоставляющий высокоуровневый интерфейс для других сервисов. Для реализации этого сервиса был выбран фреймворк Node.js, т.к. он использует событийно-ориентированный подход к выполнению программ, в результате чего приложение будет способно обрабатывать достаточно большое количество одновременных запросов. Т.к. этот сервис не выполняет сложных вычислений, низкая скорость выполнения JavaScript кода не критична для нас. Благодаря стандартизированному интерфейсу обеспечивается возможность интеграции с системами мониторинга и реагирования. Системным администраторам такой подход предоставит широкие возможности автоматизации обработки событий безопасности.

Сбор данных для анализа осуществляют снифферы, а анализ сервисы анализа. Предполагается, что в системе может быть запущено несколько экземпляров этих сервисов, которые могут использовать различные методы сбора и анализа трафика. Это позволит эффективно распределять нагрузку, осуществлять балансировку и, как следствие, обеспечить возможность горизонтального масштабирования и обеспечения отказоустойчивости. В реализованном прототипе сервис анализа основан на использовании нейронной сети, описанной в работе Суворовой В.А. “Разработка модели обнаружения сетевых атак на основе искусственной нейронной сети” [7] с использованием набора данных UNSW-NB15 [8].

В ходе выполнения данной работы был выполнен сравнительный анализ существующих решений на рынке систем обнаружения вторжений, выделены предложена масштабируемая, расширяемая архитектура системы обнаружения вторжений, а также реализован прототип такой системы. Разработанная архитектура может быть использована для построения масштабируемой, расширяемой программной системы обнаружения вторжений, которая может использоваться в качестве одного из инструментов защиты сетевой инфраструктуры предприятий. Благодаря широким возможностям горизонтального масштабирования, интеграции с системами мониторинга и системами реагирования, а также возможности расширения функционала с помощью реализации других методов анализа трафика, такая система может применяться, как на малых и средних, так и на крупных предприятиях.

#### Библиографический список

1. Major DDoS attack on Dyn DNS knocks Spotify, Twitter, Github, PayPal, and more offline [Электронный ресурс] URL: <https://www.pcworld.com/article/3133847/internet/ddos-attack-on-dyn-knocks-spotify-twitter-github-etsy-and-more-offline.html> (дата обращения 25.03.2018).
2. Тимофеев А.В., Броницкий А.А. Исследование и моделирование нейросетевого метода обнаружения и классификации сетевых атак // International Journal «Information Technologies & Knowledge» Vol.6, Number 3, 2012. С.257-265.
3. Snort: мощный инструмент обнаружения сетевых атак. [Электронный ресурс] URL: <https://www.tux.in.ua/articles/122> (дата обращения 25.03.2018).
4. День сурка. Осваиваем сетевую IDS/IPS Suricata [Электронный ресурс] URL: <https://haker.ru/2015/06/28/suricata-ids-ips-197/> (дата обращения 25.03.2018).
5. Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0 // OASIS Open 2005-2006
6. Redis [Электронный ресурс] URL: <https://redis.io/> (дата обращения 25.03.2018)
7. Суворова В. А. Разработка модели обнаружения сетевых атак на основе искусственной нейронной сети // Искусственный интеллект в решении актуальных социальных и экономических проблем XXI века: сб. ст. по материалам Второй всерос. науч.-практ. конф. (г.Пермь, 16–17 мая 2017г.) / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2017. – с. 129-135
8. Moustafa, Nour, and Jill Slay. UNSW-NB15: a comprehensive data set for network intrusion detection systems (UNSW-NB15 network data set). Military Communications and Information Systems Conference (MilCIS), 2015. IEEE, 2015.

## **THE DEVELOPMENT OF PROTOTYPE OF INTRUSION DETECTION SYSTEM**

*Abashev Mikhail A.*

Perm State University, Bukireva st., 15, Perm, Russia, 614990, [misch.abashev30@gmail.com](mailto:misch.abashev30@gmail.com)

The article describes the development of a prototype of a horizontally scalable, extensible architecture for the intrusion detection system, which based on an artificial neural network. The paper provides a comparative analysis of the existing analogues: software and software-hardware complexes. Common shortcomings of the existing systems were identified by the comparative analysis and the requirements for the system were formulated. An architecture was proposed that meets these requirements and the prototype of intrusion detection system was developed. This prototype uses artificial neural networks to detect attacks.

Keywords: network attacks, intrusion detection system, service-oriented architecture.

## **МОДУЛЬ БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕРНЕТ НОВОСТЕЙ**

*Антоненко Анастасия Романовна*

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, 61060, Россия,  
г. Пермь, ул. Бульвар Гагарина, 37а, arantonenko@edu.hse.ru

Описывается решение одной из задач проекта разработки системы мониторинга глобальных процессов на основе данных из Интернет-новостей. Показывается актуальность проекта. Описываются функции системы мониторинга в формате диаграмм IDEF0. Представлено две диаграммы. Первая иллюстрирует функции всей системы и состоит из пяти блоков. В качестве входных данных пользовательский текст, а на выходе – модель процессов. Вторая диаграмма – это декомпозиция блока «Формирование набора данных», диаграмма содержит 5 блоков. На входе: результаты запроса, на выходе: RDF-файлы. Как итог приведен сценарий использования.

Ключевые слова: Text mining, база знаний, Интернет-новости, NLP (Natural Language Processing), онтология, OWL, RDF.

В настоящее время в Интернете существует множество новостных ресурсов, описывающих различные события многих сфер жизни (социальные изменения, спортивные достижения, природные катастрофы и т.д.). Одно и то же событие, описанное разными людьми, с разных точек зрения или на разных ресурсах может по-разному влиять на множество процессов.

Зачастую человеку сложно, а порой даже невозможно, определить влияние конкретно взятого события или конкретно взятой интерпретации события на какую-либо сферу жизни (взгляды людей в обществе, политическую обстановку, экономическую ситуацию и т.д.). Сложность или неспособность человека найти описанную выше взаимосвязь состоит в том, что нужно учитывать огромное количество различных факторов (а для этого надо понять, каким образом сформировать список факторов) и понять, насколько повлиял тот или иной фактор на интересующий процесс.

Разработка интеллектуальной информационной системы, которая извлекает новостные данные из сети интернет, анализирует и предлагает вариант взаимосвязи с какими-либо процессами, позволит решить проблему, описанную выше.

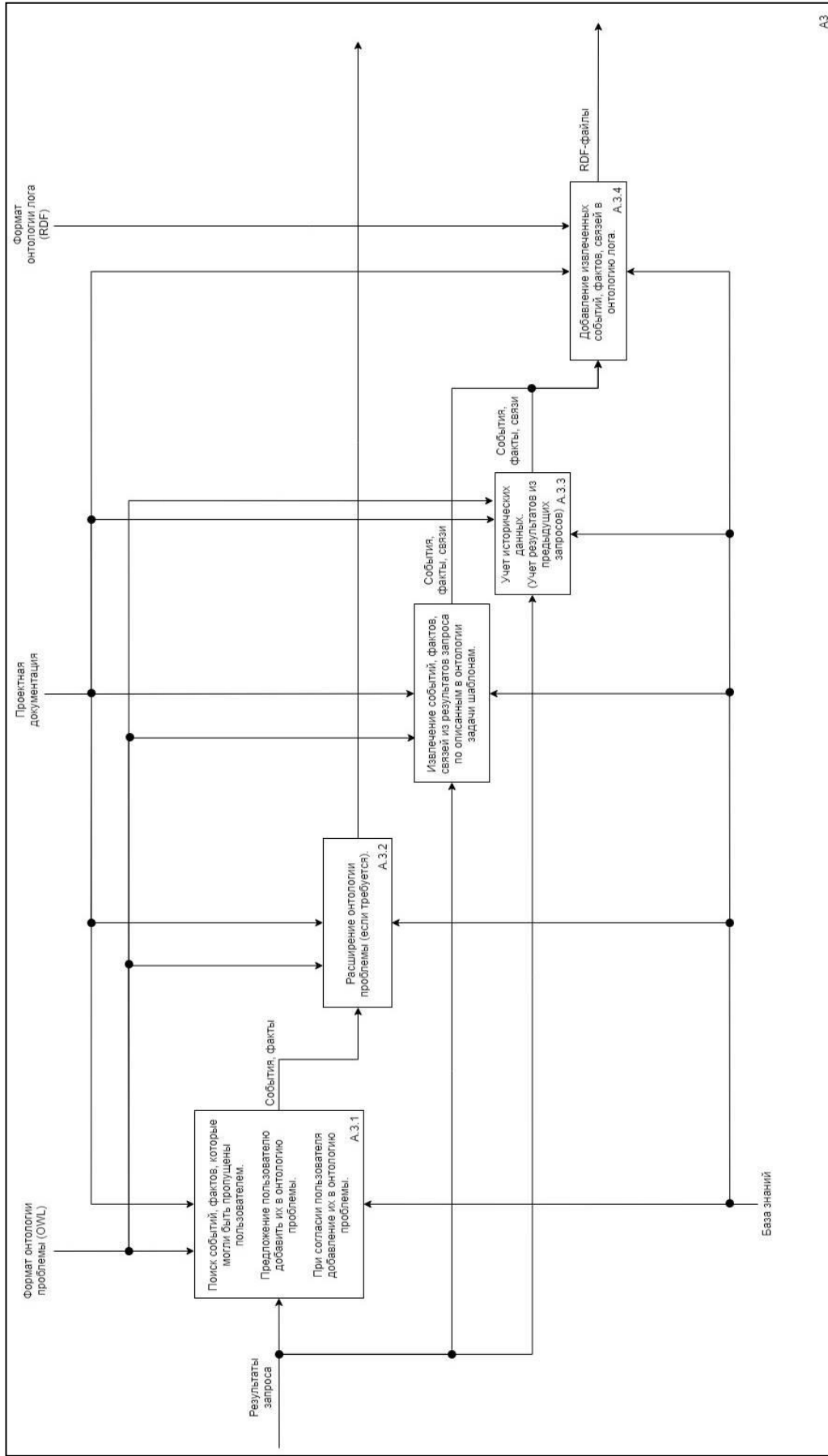
Объектом исследования является сбор Интернет-новостей, предметом – программные средства и алгоритмы извлечения информации с Интернет-сайтов.

В качестве описания требований верхнего уровня была выбрана нотация IDEF0.

На рисунке 1 представлена диаграмма процесса построения моделей глобальных процессов.

На рисунке 2 представлена диаграмма IDEF0 третьего уровня вложенности (декомпозиция блока А3), описывающая процесс извлечения фактов и событий из новостей с использованием онтологий.





A3

**Рисунок 2** Диаграмма IDEF0. Декомпозиция блока A3. Диаграмма процесса извлечения фактов и событий из новостей с использованием онтологий

Ниже приведен сценарий поведения пользователя при реализации функции построения модели:

1. Пользователь создает онтологию в protégé.
2. Пользователь заходит в информационную систему и пишет в специальном поле такой запрос, какой бы он (пользователь) вписывал в поисковую систему (такую как Яндекс, Google и т.д.) при отсутствии разрабатываемой системы.
3. Разрабатываемая информационная система направляет запрос в поисковую систему и получает страницу с ответами. Ответы – новостные сообщения, которые нашлись по запросу.
4. После получения страницы с ответами происходит разбор новостей – по содержащимся на странице ответов словам ищутся леммы слов из онтологии. Новости, которые содержали искомые слова, сохраняются в файлах формата RDF.
5. Одновременно с пунктом №4 система выискивает наиболее часто встречающиеся слова, и добавляет их в созданную пользователем на шаге №1 онтологию.
6. Результатом работы программы является набор RDF-файлов, которые пользователь может самостоятельно в дальнейшем загрузить в систему proM, которая визуализирует информацию в одной из нотаций (eEPC, BPMN).

Предложенная схема позволяет решить задачи извлечения фактов из новостей, динамического дополнения онтологии, формирования журналов событий.

#### **Библиографический список**

1. *Shalyaeva Irina, Lanin Viacheslav, Lyadova Lyudmila* Ontology-Driven System for Monitoring Global Processes on Basis of Internet News // 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT): Conference Proceedings (Vol.2) Vol. 2. M.: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2017. P. 385-389.

#### **DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR MODELING PROCESSES BASED ON INTERNET NEWS: KNOWLEDGE BASE MODULE**

*Antonenko Anastasiia R.*

National Research University Higher School of Economics, 37a, Boulevard Gagarina st., Perm, 61060, Russia, arantonenko@edu.hse.ru

The solution of one of tasks of the developing a system for monitoring global processes based on data from Internet news project is described. The relevance of the project is shown. The functions of the monitoring system are described in IDEF0 diagrams notation. There are two diagrams presented in this paper. The first illustrates the functions of the entire system and consists of five blocks. It is user-defined text as input and process model as output. The second diagram is the decomposition of the block "Formation of a data set", the diagram consists of 5 blocks. It is query results as input and RDF-files as output. As a result, the usage scenario is given.

Keywords: Text mining, knowledge base, Internet news, NLP (Natural Language Processing), ontology, OWL, RDF.



## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ТЕРМОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИКИ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

*Ахметьянова Альбина Ильшатовна, Исмагилова Альбина Сабирьяновна*

Башкирский государственный университет, 450076, Россия, г.Уфа, ул. Заки Валиди, 32,  
ai-albina@mail.ru, ismagilovaas@rambler.ru

*Хурсан Сергей Леонидович*

Уфимский институт химии РАН, 450054 Россия, г.Уфа, проспект Октября, 71,  
khursansl@gmail.com

*Зиганшина Файруза Тахваловна*

Уфимский государственный нефтяной технический университет, 450062, Россия, г.Уфа,  
ул. Космонавтов, 1/22, fairusa85@mail.ru

В настоящей работе описано математическое и программное обеспечение для конструирования базиса гомодесмических реакций (ГДР), которое позволяет реализовать гомодесмический подход с целью расчета термодинамических параметров циклических химических соединений. Для ГДР должна выполняться совокупность нескольких балансов – материального, связевого, изогирического, группового и энергетического баланса. Программа генерирует полный набор независимых гомодесмических реакций для исследуемого соединения и рассчитывает для него энтальпии образования. В работе приведены основные этапы построения программы, реализующей алгоритм определения базиса ГДР для органических соединений. На данный момент проведены расчеты энтальпий образования для тестового набора химических соединений различных классов. Для наглядности разработанного алгоритма в настоящей работе приведен пример определения базиса гомодесмических реакций для молекулы цис-бицикло[3.1.0]гексана.

Ключевые слова: базис гомодесмических реакций, энтальпия образования, цис-бицикло[3.1.0]гексан.

Целью настоящей работы является разработка математического и программного обеспечения для определения термодинамических параметров органических соединений, с использованием современных представлений молекулярной энергетики. Данные расчеты дают сравнительную оценку и позволяют найти оптимальные условия проведения реакции.

Метод ГДР был с успехом применен авторами в [2] для определения стандартной энтальпии образования ациклических неароматических соединений, представляющих классы спиртов, простых и сложных эфиров, карбонильных соединений. Рассчитаны абсолютные энтальпии в различных квантово-химических приближениях. Результаты расчета оказались малочувствительны к уровню сложности квантово-химического метода. Это позволяет

авторам применить метод ГДР, разработать математическое и программное обеспечение для более сложных молекулярных систем, включающих в себя циклические соединения.

Алгоритм конструирования базиса ГДР для химического соединения включает в себя следующие основные этапы[1]:

1. Представить всевозможные варианты «развернутой» молекулы, которая получена из исходной «разрывом» связи. Выявить все возможные комбинации внутренних групп, образующих химическое соединение.

2. Для каждого слагаемого подобрать концевые группы из тех, что присутствуют в исходном химическом соединении. Сформировать правые части ГДР.

Если в составе соединения нет концевых или нет подходящих среди имеющихся, сконструировать «новую», присоединением валентно-связанных атомов.

3. Для определения реагента (реагентов) исходного химического соединения учесть групповой состав продуктов правой части ГДР. Реагенты составляются из концевых групп, входящих в продукты.

4. Проставить стехиометрические коэффициенты в ГДР согласно групповому балансу – сохранение числа групп (внутренних и концевых) каждого типа.

Приведем пример работы алгоритма на молекуле цис-бицикло[3.1.0]гексана  $C_6H_{10}$ , строение которого представляется в виде комбинации двух типов внутренних термохимических групп [3]  $V_1$  и  $V_2$  (Рис.). В данной молекуле присутствуют два типа химических связей:  $C-C$  и  $C-H$ .

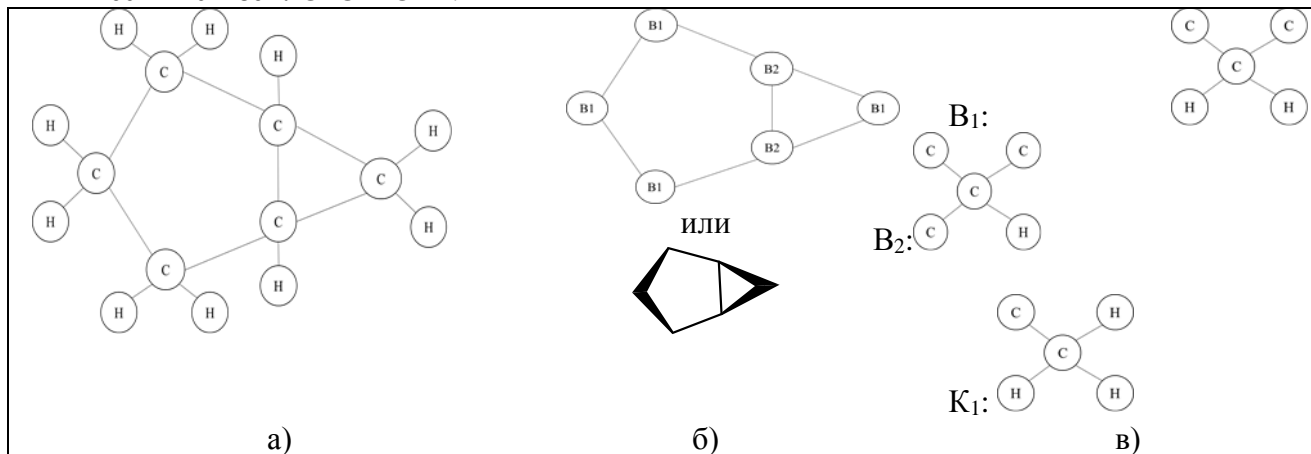




















































Рис. а) Молекула цис-бицикло[3.1.0]гексана; б) Структурная формула молекулы и ее групповой состав; в) Внутренние группы  $V_1$  и  $V_2$ , составляющие молекулу, и концевая группа  $K_1$ .

Концевая группа  $K_1$  получена из смежной внутренней группы присоединением валентно-связанных атомов  $H$ . Реагент –  $K_1K_1$  – образован из концевых групп, входящих в продукты ГДР ( $K_1K_1 = C_2H_6$ ). Выполнение условия группового баланса в ГДР позволяет расставить стехиометрические коэффициенты в реакции.

Тем самым, для цис-бицикло[3.1.0]гексана определены 57 базисных ГДР (Таблица 1).

Таблица 1 Базис ГДР

 + $K_1K_1 \rightarrow K_1V_1 (B_2V_1B_2)V_1V_1K_1$	 + $K_1K_1 \rightarrow K_1 (B_2V_1B_2)V_1V_1V_1K_1$
 + $K_1K_1 \rightarrow K_1V_1 (B_2V_1B_2)V_1V_1K_1$	 + $K_1K_1 \rightarrow ((K_1B_2)V_1(B_2K_1))V_1V_1V_1$
 + $2K_1K_1 \rightarrow K_1V_1K_1 + K_1V_1(B_2V_1B_2)V_1K_1$	 + $2K_1K_1 \rightarrow K_1V_1V_1V_1K_1 + K_1(B_2V_1B_2)K_1$
 + $2K_1K_1 \rightarrow K_1V_1K_1 + K_1(B_2V_1B_2)V_1V_1K_1$	 + $2K_1K_1 \rightarrow K_1V_1K_1 + K_1(B_2V_1B_2)V_1V_1K_1$
 + $2K_1K_1 \rightarrow K_1V_1V_1V_1B_2(B_2K_1K_1)V_1K_1$	 + $2K_1K_1 \rightarrow K_1V_1V_1B_2((B_2K_1)(V_1K_1))V_1K_1$
 + $2K_1K_1 \rightarrow (K_1V_1)(K_1B_2)V_1(B_2K_1)V_1(V_1K_1)$	 + $2K_1K_1 \rightarrow K_1V_1V_1V_1(B_2K_1)V_1B_2K_1K_1$

 + 2K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 2K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> (B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> )K <sub>1</sub>
 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>2</sub> (B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> )(B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> )	 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 3K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 3K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> (B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> )K <sub>1</sub>	 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 2K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> (K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> )(B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 2K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> (K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> )(B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 2K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> (K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 2K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 2K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> (K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> )(B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 4K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 5K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 3K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 5K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 3K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 5K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 2K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 5K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + 2K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub>
 + 5K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 3K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> (B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> )B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 5K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 2K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + 2K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 6K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 4K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 6K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 3K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 6K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 2K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + 2K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	 + 6K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 3K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub>
 + 7K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> → 4K <sub>1</sub> B <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + 2K <sub>1</sub> K <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>2</sub> K <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	

Программное обеспечение реализовано на языке программирования Delphi. Применен специализированный метод перебора, основанный на рекурсии. Результат работы программы – базис ГДР, соответствующие энтальпии образования исследуемого химического соединения, отклонение расчетных данных от экспериментальных. Вся информация о структуре, составе и энергетических характеристиках химического соединения хранится в реляционной базе данных SQLite.

### Библиографический список

1. Хурсан С.Л. Сопоставительный анализ теоретических методов определения термодинамических характеристик органических соединений // Вестник Башкирского университета. 2014. Т.19. №2. С.395–401.

2. Хурсан С.Л., Исмагилова А.С., Ахмеров А.А., Спивак С.И. Конструирование гомодесмических реакций для расчета энтальпий образования органических соединений // Журнал физической химии. 2016. Т.90. №4. С.569–575.
3. Бенсон С.У. Термохимическая кинетика. М.: Мир, 1971. 308 с.
4. Khursan S.L., Ismagilova A.S., Spivak S.I. Graph Theory Method for Determining the Basis of Homodesmic Reactions for Acyclic Chemical Compounds // Doklady Physical Chemistry. – 2017. – V.474. Part.2. – P.99-102.

## **DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE FOR THERMOCHEMICAL ANALYSIS OF CHEMICAL COMPOUNDS ENERGY**

*Ahmetyanova Albina I., Ismagilova Albina S.*

Bashkir State University, 32, Zaki Validi street, Ufa, 450076, Russia, ai-albina@mail.ru,  
ismagilovaas@rambler.ru

*Khursan Sergey L.*

Ufa Institute of Chemistry RAS, 71, Prospekt Oktyabrya, Ufa, 450054 Russia,  
khursansl@gmail.com

*Ziganshina Fairusa T.*

Ufa State Petroleum Technological University, 1/22, Kosmonavtov street, Ufa, 450062, Russia,  
fairusa85@mail.ru

In this paper, the mathematical and software for constructing the basis of homodesmic reactions (GDR) is described, which makes it possible to realize a homodesmic approach for calculating the thermodynamic parameters of cyclic chemical compounds. For the GDR must be performed a set of several balances - material, linkage, isogyral, group and energy balance. The program generates a complete set of independent homodesmic reactions for the test compound and calculates for it the formation enthalpy. The paper shows the main stages of constructing a program that implements the algorithm for determining the basis of GDR for organic compounds. At the moment, the enthalpy of formation for a test set of chemical compounds of various classes has been calculated. For the sake of clarity of the developed algorithm, an example of determining the basis of homodesmic reactions for a cis-bicyclo [3.1.0] hexane molecule is given in this paper.

Key words: basis of homodesmic reactions, enthalpy of formation, cis-bicyclo[3.1.0]hexane.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИИ ДЛЯ ВЫБОРА МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МОДЕЛИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ**

*Байрамова Елена Афсаровна*

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 614070, Россия,  
г. Пермь, ул. Студенческая, д. 38, eabayramova@gmail.com

В данной статье проводится сравнительный анализ методик повышения качества модели бизнес-процессов. Для анализа использован Метод анализа иерархий. Отсутствие единого подхода, содержащего все аспекты качества моделей, остается одной из основных проблем при управлении бизнес-процессами. На текущий момент в области оценки и повышения качества моделей бизнес-процессов представлен целый ряд различных подходов. Для анализа выбраны методики, содержащие определения качества, его количественные показатели и подходы к его повышению. Выполнено как сравнение важности каждого критерия для достижения цели, так и сравнение методик относительно каждого из критериев. Получена математически обоснованная оценка для выбора методики. Результатом является выбор методики для повышения качества модели бизнес-процессов.

Ключевые слова: модель бизнес-процессов, качество, метод анализа иерархий.

Среди современных подходов к управлению организацией наиболее широкое распространение получил процессный подход. Значимость подхода возрастает по мере роста сложности бизнеса и его масштабов — чем больше и сложнее организационная структура, тем более актуальной является потребность в структурированной деятельности и упорядоченных взаимоотношениях всех ее участников. В стремлении улучшить операционную эффективность организации все большее внимание уделяется повышению качества моделей бизнес-процессов.

В то же время, оценка качества модели — непростая задача. Несмотря на то, что разработано множество подходов к оценке качества, каждый из них предназначен для удовлетворения конкретных бизнес-требований; отсутствие единого подхода, содержащего все аспекты качества моделей бизнес-процессов, остается одной из основных проблем при управлении бизнес-процессами. Перед организациями стоит открытая задача управления качеством бизнес-процессов. Для ее решения необходимо однозначно определять, как нефункциональное требование как качество может быть применено к модели бизнес-процессов и каким образом организации могут им управлять.

Комплексный анализ представленных подходов для управления качеством модели бизнес-процессов показал, что на текущий момент в области оценки и повышения качества моделей бизнес-процессов представлен целый ряд различных подходов. Целью данного исследования является определение наиболее подходящих методик для повышения качества модели бизнес-процессов. Объектом исследования выступает качество модели бизнес-процессов. Предметом исследования является сравнительный анализ существующих методик повышения качества модели бизнес-процессов.

Управление качеством основано на 4 ключевых стадиях: определение понятия качества, его оценка, контроль и способы улучшения [1]. В соответствии с данным подходом формулируем критерии для выполнения сравнительного анализа. К ним относятся:

1. Критерии качества. Определены ли в методике критерии качества?
2. Количественные показатели. Определены ли в методике количественные показатели для оценки выбранных критериев? Насколько полно и понятно приведено их описание?
3. Повышение качества. Приведены ли в методике операции для повышения качества модели?
4. Этап ЖЦ. На каком этапе жизненного цикла применяется методика?
5. Нотация. К какой нотации методика может быть применена?
6. Программное средство. Автоматизирована ли методика?

Рассмотрим несколько направлений и подходов оценки качества моделей для отбора методик для сравнения:

1. Методика и инструмент «Evares Quality» (Evaluation and Restructuration of a BPMN model), основанные на заимствовании и адаптации показателей из программной инженерии. В работах [2,3] приведено разбиение показателей на три категории (сложности, сцепления и связности), описание оценки и возможностей для рефакторинга.
2. Методика и инструмент IBUPROFEN (Improvement and Business Process Refactoring OF Embedded Noise) [4]. В ходе эмпирического анализа авторами были определены несколько основных сценариев (условий), каждому из которых сопоставлена определенная рефакторинговая операция и показатель, определяющий необходимость ее применения. Кроме того, в работе приведен вариант оценки успешности проведенного рефакторинга, основанный на вычислениях определенных показателей.
3. Методика и инструмент BPMIMA (model improvement based on measurement activities), содержащая набор показателей для оценки качества модели и рефакторинга с точки зрения корректности, понятности и возможностей для изменения [5].

Для сравнения методик использовался Метод анализа иерархии. Основная идея этого метода состоит в декомпозиции многокритериальных оценок в сторону нескольких однокритериальных оценок, что существенно упрощает процедуру параметризации и делает ее более объективной. Для количественной оценки использовалась следующая семнадцатизначная шкала: 1 – равная важность альтернатив, 3 – слабое превосходство, 5 – среднее превосходство, 7 – сильное превосходство, 9 – абсолютное превосходство; 1/3 – слабое отставание, 1/5 – среднее отставание, 1/7 – сильное отставание, 1/9 – абсолютное отставание; 2, 4, 6, 8, 1/2, 1/4, 1/6, 1/8 – промежуточные значения [6].

Иерархия выбора методики повышения качества модели бизнес-процессов состоит из трех уровней, где первый уровень содержит один узел – цель, второй уровень содержит 6 узлов – критерии, последний уровень (3 узла) – исходы. При практической реализации метода анализа иерархий для каждого уровня строятся матрицы парных сравнений. Для установления локальных приоритетов (весов) элементов вычисляется среднее геометрическое в каждой строке; затем производится нормирование (сумма весов должна быть равна 1). Полученные векторы весов исходов по каждому критерию умножаются на вектор весов критериев. Полученный вектор отражает веса исходов с точки зрения достижения цели (глобальные приоритеты).

На первом этапе были попарно сопоставлены друг с другом все критерии с точки зрения их важности для достижения цели. Результаты сравнения значимости критериев представлены в таблице (Таблица. 1). Отношение согласованности матрицы составило 0,09. Значение ОС, меньшее или равное 0,10, считается приемлемым [6].

Таблица 1. Результаты сравнения критериев относительно цели

№	Критерий	Вес
1	Критерии качества	0,06
2	Количественные показатели	0,42
3	Повышение качества	0,25
4	Этап ЖЦ	0,04
5	Нотация	0,12
6	Программное средство	0,11

Затем выполнено сравнение трех выбранных методик по каждому критерию. Относительные приоритеты каждой из методик (матрица весов исходов, где столбец – вектор весов исхода относительно критерия), а также итоговые результаты (глобальные приоритеты) приведены в таблице 2. Отношение согласованности каждой из матриц составляет менее 0,07 (хороший результат).

Таблица 2. Итоги сравнительного анализа методик относительно достижения цели

Критерии \ Исходы	Критерии качества	Количественные показатели	Повышение качества	Этап ЖЦ	Нотация	Программное средство	Вес исхода	Приоритет
Вес критерия	0,06	0,42	0,25	0,04	0,12	0,11		
Evares Quality	0,38	0,56	0,07	0,21	0,33	0,14	<b>0,34</b>	2
IBUPROFEN	0,29	0,09	0,33	0,24	0,33	0,53	<b>0,24</b>	3
ВРМІМА	0,33	0,35	0,60	0,55	0,33	0,33	<b>0,42</b>	1

Таким образом, наибольший приоритет получила методика ВРМІМА, представленная в работе [5]. Именно ее рекомендуется применять для повышения качества моделей бизнес-процессов согласно определенным ранее критериям.

Стоит отметить, что при первоначальном знакомстве все три методики довольно похожи друг на друга и сделать осознанный выбор одной из них довольно проблематично. Каждая из них содержит определение качества, список показателей, используемых для его оценки, набор рефакторинговых операций и инструмент реализации. Экспертное назначение приоритетов для узлов третьего уровня (исходов, методик) осложняется тем, что критериев сравнения в данном случае шесть. Использованию метода анализа иерархии и способствует повышению объективности оценок, поскольку, во-первых, проводится попарное сравнение каждой из альтернатив (методик) относительно определенного критерия, а во-вторых, в итоговом результате учитывается вес каждого из критериев.

### Библиографический список

1. *Heravizadeh, M.* Quality-aware business process management. Ph.D. thesis, Queensland University of Technology, Australia, 2009.
2. *Khlif, W.* Quality metrics for business process modeling / Wiem Khlif, Lobna Makni, Nahla Zaaboub, Hanene Ben-Abdallah; WSEAS International Conference on Applied Computer Science (ACS 09), 2009.
3. *Khlif, W.* A methodology for the semantic and structural restructuring of BPMN models / Wiem Khlif, Hanène Ben-Abdallah, Nourchène Elleuch Ben Ayed; Business Process Management Journal, 2017. Vol. 23(1) pp. 16 – 46.
4. *Fernández-Ropero, M.* IBUPROFEN: Improvement and Business Process Refactoring OF Embedded Noise. Ph.D. thesis, University of Castilla-La Mancha, Spain, 2015.
5. *Sánchez-González L.* A case study about the improvement of business process models driven by indicators // Software and Systems Modeling (SoSyM). 2017. №16. С. 759-788.
6. *Саату Т.* ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.

### BUSINESS PROCESS MODEL QUALITY IMPROVEMENT METHOD SELECTION BY ANALYTIC HIERARCHY PROCESS

*Bayramova Elena A.*

National Research University Higher School of Economics, 38 Studencheskaya st., Perm, 614070,  
Russia, eabayramova@gmail.com

This article addresses the comparative analysis of several business process model quality improvement methods. Analysis is carried out by Analytic hierarchy process. The lack of an universal approach, consolidating all aspects of the models' quality, remains one of the main problems in business processes management. Currently, a number of different approaches are proposed to assess and improve quality of business process models. For the analysis, methods containing quality determinations, quality implementation, quality control and quality improvement have been selected. A mathematically sound estimate for the technique's choice is obtained. The result is a selection of techniques for improving quality of business process model.

Ключевые слова: business process model, quality, Analytic hierarchy process.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ И ЭМОЦИОНАЛЬНОГО ОТКЛИКА НА ОСНОВЕ ОТНОШЕНИЙ ЧАСТОТ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ

*Близнюк Олеся Александровна, Мишланова Мария Алексеевна, Мишланова Арина Алексеевна,  
Шкарапута Александр Петрович*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, olesia.bliznuk@gmail.com

В данной работе исследуется применимость метода определения эмоционального состояния человека, а так же его эмоциональных откликов на различные звуки неестественного происхождения, построенного на основе анализа отношений частот звуковой волны, так как предполагалось, что именно отношения частот характеризуют эмоциональную окраску сигнала. Метод применялся для распознавания таких эмоций как радость, печаль, гнев, страх, отвращение, удивление, а так же для распознавания эмоциональных откликов на звуки, вызывающие положительные и отрицательные эмоциональные реакции. Найдены отношения, наиболее характерные для разных групп эмоций, а также для звуков, вызывающих разные эмоциональные отклики.

Ключевые слова: определение эмоций, эмоции, частоты, звуковые волны, минор, мажор

На данный момент существует множество методов, с помощью которых можно определить, эмоциональное состояние человека. В данной работе использован метод, который основывается на отношениях частот звуковой волны [1,2].

В работе были использованы звуковые сигналы, взятые из электронного источника [3], в которых содержались голосовые записи различных людей, выражающих те или иные эмоции, а так же звуковых эффектов.

Принадлежность сигнала к той или иной группе определялась на основании оценок авторами наличия той или иной эмоции в сообщении 0 или 1 (0 - эмоция не присутствует, 1 - присутствует). Нейтральные и звуки, в которых присутствовало более одной эмоции, не рассматривались.

При анализе звуковой сигнал разбивался по времени на некоторое количество отрезков, затем на каждом отрезке находились частоты трех максимальных амплитуд. Далее считались отношения частот друг к другу внутри каждого отрезка. Так как для каждой исследуемой группы удалось найти наиболее характерные отношения, то на основании полученных количественных показателей встречаемости отношений частот в конкретном звуковом сигнале делается вывод о принадлежности сигнала к той или иной группе.

Так в работах [1,2] было исследовано 90 записей, среди которых 45 с радостными эмоциями (на основании оценки авторами) и 45 с печальными. Записи содержали такие эмоции, как смех, плач, восторг, вздохи, кроме того были проанализированы фразы из детских аудиосказок. Сравнение количественных характеристик встречаемости отношений частот 0,79 (большая терция – мажорное звучание) и 0,84 (малая терция – минорное звучание) показало возможность корректного разделения записей в 60-70 процентах.

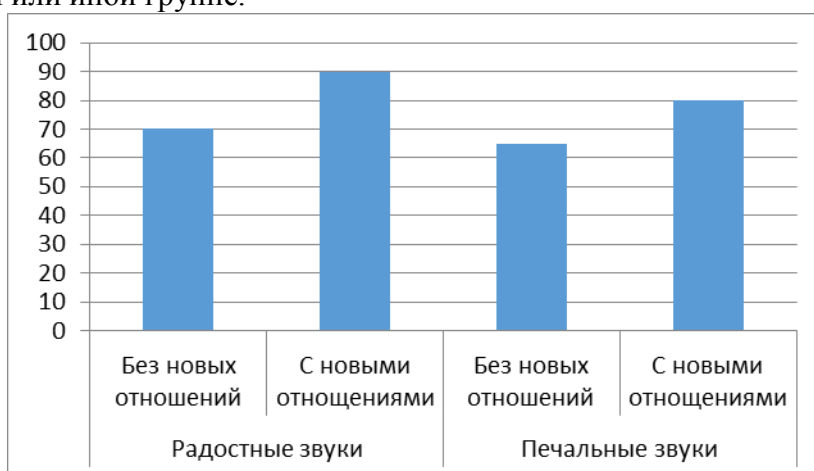
Для оптимизации метода, были найдены дополнительные отношения, которые наиболее часто присутствовали в аудиозаписях. Было проанализировано 40 записей. Среди всех записей было 20 радостных и 20 печальных. После подсчета встречаемости новых

отношений были получены следующие количественные показатели, которые представлены в таблице 1:

**Таблица 1. Количество найденных отношений в записях**

	0.33	0.43	0.45	0.47	0.64	0.30
Радостные	38	38	48	24	36	20
Грустные	36	22	26	36	58	22
Все записи	74	60	74	60	94	42

По данным в таблице 1 можно сделать вывод, что отношения 0.33 и 0.3 не помогают корректно определить эмоцию, так как они одинаково часто присутствовали, как в печальной, так и в радостной записи. Однако отношения 0,43 и 0.45 намного чаще встречаются в записях с радостными эмоциями и 0.47 и 0.64 в печальных записях. Суммированием всех отношений в конкретной записи (характерных для радости или печали) определялось ее отношение к той или иной группе.



**Рис. Процент определения звуков**

Процент корректного определения эмоционального состояния с использованием без использования новых отношений и с их использованием представлен на диаграмме (Рис.).

Видно, что без новых отношений радостные и печальные записи определялись в 70 и 65 процентах случаев соответственно, а после использования новых отношений процент увеличился и у радостной эмоции (90%), и у печальной (80%).

В дальнейшем данный метод был применен для определения других эмоциональных состояний человека, а именно: гнев, страх, отвращение и удивление. Было исследовано 40 записей, среди которых 10 с записями гнева, 10 – страха, 10 – отвращения и 10- удивления.

После анализа данных исследуемого метода было получено 3 наиболее повторяющихся отношения в каждой из групп (I – наиболее часто встречающиеся, II–на 2 месте по частоте, III–на 3 месте по частоте). Полученные результаты удобно представить в виде таблицы 2:

**Таблица 2. Найденные отношения звуков**

Группа эмоций	Соотношения звуков		
	I	II	III
Гнев	0,69	0,50	0,67
Страх	0,74	0,67	0,81
Отвращение	0,67	0,58	0,62
Удивление	0,50	0,69	0,61

Было проведено сравнение со ступенями из теории музыки. Так, в соответствии с результатами и с погрешностью 0,01, получено, что такие интервалы, как чистая квинта (0,67) и октава (0,5) в совокупности характерны для эмоции гнева, малая секста (0,63) характерна для эмоции отвращения, чистая кварта (0,75) – для эмоции страха... Сравнение количественных характеристик позволило корректно разделить на группы 75 % записей.

Также было исследовано влияние различных звуков на эмоциональное состояние человека. Исследование было проведено на основе 60 записей, 30 из которых вызывали положительный отклик и 30 вызывали отрицательный. Записи содержали звуки военной техники, звуки сирен/тревог, ударов/разрушений, и звуки праздника, детских игрушек, смеха.

В результате обнаружено, что для положительного отклика чаще всего встречаются отношения (в порядке частоты встречаемости) 0,79; 0,89; 0,95 и для отрицательного 0,67; 0,62; 0,54. Необходимо отметить, что 0,79 это большая терция, характерная мажорному звучанию, а 0,67 – чистая квинта, характерная (как показано выше) страху или отвращению.

Анализ количественных характеристик позволил корректно разделить на группы около 70 % записей.

В заключение необходимо отметить, что данный метод, основанный на количественных оценках отношений звуковой волны, позволяет определять эмоциональное состояние говорящего и даже его реакцию на раздражение с большой степенью точности. На конечном этапе было проведено обучение нейронной сети для записей радости, печали, гнева, страха, отвращения, удивления на основе 15 параметров (отношений частот) для каждой записи. Для 60-ти записей удалось построить нейросеть, которая разделила все записи по соответствующим группам без ошибок. Аналогичных результатов удалось добиться при построении нейронной сети для определения эмоционального отклика на внешнее раздражение при разделении 60-ти записей вызывающих положительные или отрицательные отклики.

### Библиографический список

1. *Близнюк О.А., Шкаранута А.П.*, Исследование применения метода определения базовых эмоций на основе отношения частот спектра звуковой волны [Текст] // Вестник Пермского университета – 2017: научный журнал – Пермь, 2017. – С. 86-91.
2. *Близнюк О.А., Шкаранута А.П.*, Определение эмоционального состояния с помощью оценки соотношений частот звуковой волны [Текст] // Математика и междисциплинарные исследования - 2017: сб. статей. – Пермь, 2017. – С. 45-49.
3. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://wav-library.net/sounds-noises>, свободный.
4. *Прокис Дж.* Цифровая связь [Электронный ресурс] / Прокис Дж.; пер. Кловский Д.Д. – Электрон.текстовые дан. – М.: 2000. – Режим доступа: [http://sernam.ru/book\\_p\\_net.php?id=38](http://sernam.ru/book_p_net.php?id=38), свободный.
5. *Савельев И.В.*, Курс общей физики: в 3-х т. / Савельев И.В. – М: Наука, 1970. – 517 с. – 3 т.

## **DETRMINATION OF EMOTIONS AND EMOTIONAL RESPONSE BASED ON FREQUENCIES OF SOUND WAVES**

*Bliznyuk Olesya A., Mishlanova Maria A., Mishlanova Arina A., Shkaraputa Alexander P.*

Perm State University, 614990, Russia, Perm, Bukireva St, 15, olesia.bliznuk@gmail.com

In this work we explore the applicability of the method of determining the emotions and for emotional responses to various sounds of unnatural origin. This method defined emotions such as joy, sadness, anger, fear, and revulsion, surprise also emotional responses to negatively influencing sounds and to positively influencing sounds. Optimization of this method is carried out and new frequency rations that more accurately determine the basic emotions (joy, sadness) are found. Frequency rations were found to recognize other emotions (anger, fear, disgust, surprise).

Keywords: emotions, frequencies, sound waves, minor, major

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ПОСТРОЕНИЮ РАСПИСАНИЯ ДЛЯ УЧРЕЖДЕНИЯ СОЦИАЛЬНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

*Боброва Юлия Викторовна*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, bojuvi19@gmail.com

В любом учреждении социального обслуживания, посещение специалистов пациентами протекает при помощи составленного листа посещений врача (расписания приемов). Каждый день начинается с составления такого расписания. В большинстве современных учреждениях социального обслуживания при этом используют человеческий фактор без использования современных средств автоматизации. Однако диспетчер не может обрабатывать такое количество информации безошибочно и составлять корректный лист посещений врача. Что, несомненно, негативно сказывается на процессе посещения врача пациентами. В данной работе будет рассмотрено применение «генетического алгоритма» для составления расписания при помощи ЭВМ. Который позволит автоматически составлять оптимальное расписание для посещения пациентами специалистов.

Ключевые слова: учреждение социального обслуживания, оптимальное расписание, задача о рюкзаке, фитнес-функции, генетический алгоритм.

Одним из таких учреждений социального обслуживания, которые не используют возможности ЭВМ при составлении расписания является КГАУ «Центр комплексной реабилитации инвалидов» в Перми. В данный момент, составление листа посещений для пациентов полностью лежит на диспетчерах, получающих на вход ФИО пациентов и список процедур, которые им нужно пройти за отведенное время. На выходе диспетчер должен составить расписание, которое будет безошибочно координировать приемы врачей и посещение их пациентами. На что им требуется значительное количество времени и не исключает возможности ошибок. Данный процесс можно ускорить и сделать более эффективным с помощью современных информационных технологий.

Задача составления расписания учреждения социального обслуживания по типу искомого решения относится к «задачам распределения», которые подразумевают поиск оптимального распределения работ по исполнителям. Исполнителями в нашем случае будут специалисты центра. По типу целевой функции отнесём нашу задачу к «задаче на построение допустимого расписания». В случае расписания центра, входные значения заранее известны. Модуль должен принимать на вход карты лечения пациентов центра, соответственно наша задача сводится по способу задания входной информации к «детерминированной задаче».

В данной статье, как уже анонсировано выше, будет рассмотрено применение генетического алгоритма к составлению расписания учреждения социального обслуживания. Алгоритм будем рассматривать как набор итераций. Каждая итерация, это наполнение кабинета специалиста пациентами в рамках одного дня. Значения всех входных параметров

будут актуальны в рамках одного дня. При формировании расписания будем учитывать следующие входные параметры:

**Пациент** ( $x_i$ ) – единица(предмет), которую будем распределять по «рюкзакам».

**Специалист** ( $j$ ) – количество кабинетов центра, которые обслуживают пациентов(рюкзаки). Также будем рассматривать каждого специалиста, как одну из итераций алгоритма.

**Карта лечения пациента** – своеобразный справочник, в котором храниться информация, к какому специалисту необходимо записать пациента (в какой «рюкзаке» нужно поместить «предмет»). Данный объект необходим, так как пациентам, в большинстве случаев, назначены приёмы не у всех специалистов центра.

**Вес пациента** ( $W_j$ ) – под весом будем понимать фиксированную длительность (тайм-слот расписания) отведенную на проведение приёма специалистом. Для всех пациентов он будет единым в рамках одного специалиста.

**Время работы специалиста** ( $t_j$ ) – длительность работы специалистов центра в пределах одного кабинета центра в единицу времени(день).

**Стоимость пациента** ( $P_i$ ) – их приоритет при составлении расписания. Значение стоимости каждого пациента будет меняться на каждой итерации алгоритма в зависис

**Максимальный объем рюкзака** ( $C_j$ ) – будем вычислять по формуле  $C_j = t_j \div W_j$

Целью алгоритма является нахождение возможных вариантов наполнения каждого «рюкзака». Пусть имеется  $n$  пациентов (предметов). Для каждого  $i$ -го предмета задан его вес  $W_j > 0$  и стоимость (ценность),  $P_i > 0$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Ограничение на максимальный объем рюкзака –  $C_j$ . Каждый  $x_i$  может принимать только одно из двух значений:  $x_i = 1$ , если  $i$ -й предмет упаковывают в рюкзак, или  $x_i = 0$ , в противном случае [2]. Рассмотрим сам алгоритм, который будет состоять из двух видов итераций:

- *1-ая итерация* – в ней не будет применен генетический алгоритм.
- *n-ая итерация* – пациенты распределяются по оставшимся специалистам ( $j-1$ ) с помощью генетического алгоритма.

### **Итерация 1-ая**

Имеется  $m$  «рюкзаков» объемом  $C_j$  и  $n$  различных «предметов». Каждый предмет  $i$  имеет известный объем  $W_1$  и стоимость  $P_i$ , на первой итерации у всех пациентов стоимость одинаковая  $P_i = 1$ . Выбираем одного специалиста ( $C_1$ ) - первый «рюкзак». Его наполняем произвольно. На вход получаем  $k$  пациентов, которым необходимо пройти приём у специалиста и методом «рулетки»(случайный выбор) записываем пациентов в тайм-слоты расписания специалиста центра. После первой итерации изменяются веса пациентов(предметов), которые были использованы при заполнении «первого рюкзака». Это обусловлено тем, что при последующих итерациях у пациентов появляются ограничения на временные периоды, в которые их можно записать на приём к следующему специалисту. Соответственно у каждого пациента, который был помещен в  $C_1$  ценность повышается

$$P_i = P_i + 1$$

### **Итерация j-ая**

Начиная со второй итерации, применим простой генетический алгоритм со стандартными операторами скрещивания и мутации. На входе имеется  $m-1$  «рюкзаков» объемом  $C_j$  и  $n$  различных «предметов». Каждый «предмет» имеет известный объем ( $W_j$ ) и стоимость  $P_i$ , каждый «рюкзак» имеет свою вместимость  $C_j$ . Объем «предмета» зависит от «рюкзака», в который его будут складывать. В рамках одного «рюкзака»  $C_j$ , объем «предметов» одинаковый. В рюкзак можно

положить целое число различных «предметов». Нужно упаковать рюкзак так, чтобы порядок, в котором лежит «предмет» в  $j$ -ом рюкзаке не пересекался с порядком этого «предмета» в любом другом. Также необходимо чтобы  $j$ -ый рюкзак был максимально заполнен, а сумма весов предметов не превышала заданный объем  $C_j$  [1].

На каждом шаге итерации надо следить за тем, чтобы новые решения, полученные в результате скрещивания или мутации, удовлетворяли требуемому ограничению  $V < C_j$ ,

где  $V = \sum_{j=1}^n W_j \leq C_j$  [3].

В качестве фитнес-функции возьмем:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i$$

Данная задача относится к классу задач с ограничениями, так как имеет неточное решение. Для более точного результата модифицируем нашу фитнес-функцию. Добавим так называемую, штрафную функцию, которая может быть определена следующим способом:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i - Pen(x)$$

В качестве штрафного значения возьмем значение для функции с линейным характером.

$$Pen(x) = p \cdot \left( \sum_{i=1}^n x_i \cdot W_i - C_j \right)$$

Одной из главных проблем в составлении расписания является «пересечение» (пересечения во времени посещений специалистов). Поэтому после получения результата итерации, необходимо проверить каждого пациента, не лежит ли он в другом «рюкзаке» в том же порядке что и в текущем (нет ли «пересечений»). Если находятся подобные пересечения, то итерация повторяется до получения нужного результата (до исключения «пересечения»). Итерация считается законченной в двух случаях. Первый, все пациенты записаны на приём к специалисту и нет пересечений в посещении пациентами других специалистов, в этом случае в «рюкзаке» могут остаться пустые места. Второй, когда рабочий день специалиста полностью заполнен приёмами пациентов и нет пересечений в посещении пациентами других специалистов. После  $j$ -ой итерации изменяются веса пациентов(предметов), которые были использованы при заполнении «рюкзака»  $P_i = P_i + 1$  После чего запускается следующая итерация.

В конце выполнения алгоритма мы получаем оптимальное распределение предметов по рюкзакам, а соответственно оптимальное расписание.

## Выводы

Для решения задачи о составлении расписания для учреждения социального обслуживания можно использовать генетический алгоритм, но с доработками. Так как имеются такие ограничения, как: наличие нескольких рюкзаков, изменяемая ценность предметов, условие, что предмет нужно поместить не во все рюкзаки и условие, что порядок размещения предметов в разных рюкзаках не должен совпадать.

## Библиографический список

1. URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/14221/1284/lecture/24170>
2. *Silvano Martello, Paolo Toth* Knapsack Problem Algorithms and Computer Implementations University of Bologna John Wiley & Sons. 1990. 296 p.
3. *Панченко, Т. В.* Генетические алгоритмы [Текст] : учебно-методическое пособие / под ред. Ю. Ю. Тарасевича. — Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2007. — 87 [3] с.

# **ANALYSIS OF KNAPSACK PROBLEM FOR APPLICATION TO THE AUTOMATED CONSTRUCTION OF THE SCHEDULE OF THE MEDICAL INSTITUTION**

*Bobrova Iuliia V.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, bojuvi19@gmail.com

In any institution of social services, visits to specialists by patients proceed with the help of a compiled sheet of doctor visits (the schedule of receptions). Every day begins with the drawing up of such a schedule. In most modern institutions of social services, the human factor is used without using modern means of automation. However, the dispatcher can not process this amount of information unerringly and compile a correct list of visits to the doctor. That, undoubtedly, negatively affects the process of visiting a doctor by patients. In this article, we will consider the application of the "genetic algorithm" for scheduling with the help of a computer, which will allow to automatically create an optimal schedule for visiting specialists by patients.

**Keywords:** institution of social services, optimal schedule, knapsack problem, fitness functions, genetic algorithm.



## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА В ПРОСТРАНСТВЕ

*Вшивков Михаил Андреевич*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, vshivkov.ma@gmail.com

Работа посвящена описанию разработки программного продукта для моделирования перемещения мобильного робота на основе концептуальных карт. Описываемый продукт программный продукт включает в себя возможности по преобразованию специальных онтологий в трёхмерную среду, изменение характеристик объектов, а также их добавление/удаление. Описывается подход к разработке среды моделирования перемещения мобильного робота в проектируемой карте.

Ключевые слова: мобильный робот, система моделирования, концептуальная карта, онтология, инженерия знаний.

В настоящее время человечество ставит перед собой всё больше задач, связанных с роботами: становятся интересными не только способы выполнения техническим средством поручений человека, но и то, каким образом эти средства будут осуществлять коммуникацию, как они будут хранить информацию. Можно увидеть, как на эти и многие другие вопросы пытаются ответить инженеры мобильных роботов – таких автоматических устройств, способных осуществлять своё перемещение без вмешательства человека, и предназначенных для осуществления различного вида операций, задаваемых заранее.

### **Задача перемещения мобильного робота в пространстве**

Исследования в области навигации роботов были сосредоточены на трех основных задачах [1]:

1. определение роботом собственного положения;
2. отображение окружающего пространства в формальный вид, понятный роботу;
3. создание и планирование маршрутов по созданному пространству таким образом, чтобы не произошло столкновения с какими-либо объектами.

Успех выполнения данных задач во многом зависит от наличия различного рода сенсоров у мобильного робота. В общем случае, на мобильные роботы устанавливают [2]:

1. одометрические сенсоры, которые используют данные о движении робота для оценки перемещения;
2. лазерные сенсоры, которые способны определять расстояние от робота до других объектов;
3. гироскопы – устройства, способные реагировать на изменение положение робота в пространстве относительно инерциальной системы отчёта.

Однако, использование даже всей совокупности сенсоров и датчиков и соответствующих математических моделей не позволяет в общем случае решить задачу позиционирования и автономного перемещения робота в пространстве.

## Реализация систем моделирования

Количество различных программных продуктов для мобильных роботов достигает тысячи единиц, что говорит о наличии большой конкуренции и заинтересованности различных организаций в данной области. Сравнение различных систем моделирования перемещения мобильного робота в пространстве приведено в таблице 1.

**Таблица 1. Сравнение систем моделирования перемещения мобильного робота**

Наименование продукта	Разработчик	Поддерживаемые операционные системы	Последнее обновление, год	Языки программирования	Поддерживаемых роботов	Интеграция с другими проектами
Microsoft Robotics Developer Studio	Microsoft	Windows, Linux	2012	C#, VB .NET, JScript, IronPython	От 17	+
Robot Operating System	Willow Garage, Stanford AI Lab.	Linux, macOS	2017	Нет привязки к языку	От 122	+
Experimental Robotics Framework	João Xavier	Linux, BSD	2013	Objective-C	Любой	+
Player/Stage Project	Brian Gerkey, Richard Vaughan, Andrew Howard, and Nathan Koenig	Linux, Solaris, BSD, Mac OS X	2010	C, C++, Python, Ruby	От 14	+

По крайней мере два продукта из данного списка по сравнению с другими наиболее сильно повлияли на индустрию в целом.

Первый из них – Microsoft Robotics Developer Studio (MRDS). Данные в нём представляются из связанной последовательности действий, представленных в виде блоков со входами и выходами, которые могут быть связаны с другими блоками. Важной частью этого продукта является среда визуального моделирования, которая предназначена для использования во множестве передовых сценариев с высокими требованиями к верности, визуализации и масштабированию [3].

Второй значимый продукт – Robot Operating System (ROS). Основные отличия от MRDS состоят в открытости, модульности и большой поддержке продукта со стороны пользователей. Для моделирования поведения робота, а также создания трёхмерной среды для его перемещения, в ROS используется язык Unified Robot Description Format (URDF), который представляет из себя подмножество XML [4].

### Описание разработанной системы

В результате опыта, полученного после обзора различных систем моделирования, было решено разделить разрабатываемый продукт на 2 части:

1. редактор концептуальных карт (таких файлов, которые описывают пространство);

2. систему моделирования перемещения мобильного робота в редактируемой концептуальной карте.

Предполагается, что редактор концептуальных карт будет разработан для робота, составляющего карту конкретного пространства, а именно – спроектированного помещения. В самом общем случае, для создания такой карты робот должен уметь интерпретировать следующие понятия и свойства:

1. «комната» (включающая в себя стены, пол...) как часть помещения;
2. «объект» (со свойствами формы, размера и положения относительно друг друга) как часть «комнаты».

Для описания концептуальных карт был использован подход с применением онтологического инжиниринга. Важно, что в самом файле концептуальной карты отсутствуют конкретные координаты объектов, имеется лишь обозначения по типу «объект А левее объекта Б». Конечный файл имеет расширение «.owl» и умеет интерпретироваться разработанным программным средством в обе стороны: как на открытие, так и на сохранение.

После открытия файла концептуальной карты пользователь имеет трёхмерную среду, в которой имеется возможность по работе с объектами карты: их перемещение с помощью мыши, изменение характеристик (форма, размер, координаты), указание связей с другими объектами, добавление новых объектов; со стенами и полом: добавление и удаление новых, а также изменение текстур у существующих; с системой моделирования: по нажатию соответствующей кнопки происходит запуск WCF сервиса, который позволяет управлять мобильным роботом в спроектированной концептуальной карте и получать данные с его сенсоров.

На данный момент редактор концептуальных карт находится в стадии разработки. С учётом разработанной архитектуры имеется возможность подключения новых форматов описания карт, добавления сред моделирования, а также предоставления большего функционала непосредственно в системе моделирования.

### **Библиографический список**

1. *Ellips Masehian* M.J.T.H. Cooperative Mapping of Unknown Environments by Multiple Heterogeneous Mobile Robots with Limited Sensing // *Robotics and Autonomous Systems*, Aug 2016. P. 23.
2. *Gianluca Ippoliti* L.J.S.L.A.M. Comparative Analysis of Mobile Robot // *Mobile Robots: Perception & Navigation*, Feb 2007. P. 704.
3. Microsoft. Oreview // Microsoft Developer Network. 2012. URL: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb483024.aspx> (дата обращения: 08.03.2017).
4. ROS. Is ROS For Me? // ROS.org | Powering the world's robots. 2017. URL: <http://www.ros.org/is-ros-for-me/> (дата обращения: 10.03.2017).

## **THE DEVELOPMENT OF SIMULATION SYSTEM OF MOBILE ROBOT MOVEMENT IN SPACE**

*Vshivkov Mikhail A.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, vshivkov.ma@gmail.com

This work has a description of the editor of conceptual maps of rooms for a mobile robot, and the process preceding the beginning of its development. The analysis made it possible to draw the following conclusions: existing solutions in the bulk are not supported, have an insufficiently intuitive interface with the user, and are also limited in functionality, especially with respect to modeling a three-dimensional environment. The developed software product includes the ability to convert special ontologies to a three-dimensional environment, change the characteristics of objects, as well as add and remove them. In addition, a convenient simulation environment for moving a mobile robot in the projected map is provided.

Keywords: mobile robot, simulation system, concept map, ontology, knowledge engineering.

## АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЗНАНИЙ ИЗ ТАБЛИЧНЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

*Галиева Юлия Альбертовна, Чуприна Светлана Игоревна*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, Gal\_Yulia@mail.ru

В статье представлена концепция подхода к автоматизированному построению баз данных на основе автоматического извлечения знаний из текстов медицинской тематики. Демонстрируется применение методов искусственного интеллекта для извлечения данных и знаний из неструктурированных и полуструктурированных текстов, содержащих табличное представление данных (анкеты, результаты медицинских анализов и т.п.). Исследуется возможность применения унифицированных подходов к извлечению данных и знаний как из произвольных текстов на естественном языке (русском, английском) без таблиц, так и с таблицами. Исследования направлены на сокращение времени ввода данных и знаний в медицинские приложения с тем, чтобы позволить практикующему врачу сосредоточиться на анализе данных с учетом контекста проводимых исследований конкретного пациента.

Ключевые слова: Table Mining, автоматическая обработка медицинских текстов, автоматизация пополнения баз данных, онтологический инжиниринг, лексико-синтаксические шаблоны.

### **Введение**

Для создания широкого круга приложений в области медицины и оценки рисков здоровью важно не просто автоматизировать процесс ввода необходимых для анализа данных, а по возможности сократить до минимума этот процесс, позволив практикующему врачу сосредоточиться не на вводе, а на анализе данных с учетом контекста проводимых исследований у конкретного пациента.

Например, многие сведения, касающиеся референтных (референсных) показателей (интервалов) медицинских анализов и связанных с ними оценок рисков здоровью человека ввиду неблагоприятных медицинских, генетических, социальных и экологических факторов, достаточно широко известны и доступны как в медицинской литературе, так и в открытых информационных ресурсах сети Интернет. Несмотря на это, по-прежнему в открытом доступе нет соответствующих баз данных, группирующих референтные показатели с учетом возраста, пола или других биологических и иных факторов. Поэтому актуальна задача автоматического извлечения нужных фактов и знаний из текстов по медицинской тематике, в том числе из таблиц, представленных в текстовой форме, для автоматического пополнения медицинских баз данных.

Для извлечения валидных данных из таблиц необходимо иметь знания об их содержании. Иными словами, интерпретация таблицы зависит в том числе и от знания ее контекста. Поэтому необходимо одновременно решать как задачу извлечения знаний из текстовых данных (text mining), так и задачу извлечения знаний из табличных данных (table mining). Подробно термин и задачи table mining применительно к текстам на английском языке описаны в работе группы ученых из манчестерского университета [1, с. 32]. Для унифицированного решения указанных выше проблем с учетом контекста табличных данных,

представленных в текстовом виде, мы предлагаем использовать подход, основанный на методах онтологического инжиниринга.

### Концепция предлагаемого подхода

Предлагаемый подход основан на использовании онтологии для управления процессом обработки текстового документа, содержащего табличные данные. Онтология является прикладной, так как содержит как предметные знания из области медицины, например, названия показателей и соответствующие референтные интервалы, так и описания таблиц как части текста для решения задач автоматического извлечения фактов из табличных данных, представленных в текстовом виде. Надо отметить, что в данном подходе не используются уже хорошо изученные и дающие неплохие результаты методы работы с таблицами как с объектами. Это сделано намеренно ввиду разнородности медицинских данных и различных форм их представления как в текстовых документах, так и в информационных ресурсах Интернет. Например, таблица в тексте формата .doc может быть не оформлена как встроенный объект Excel.

Наша цель исследовать возможность унифицированного подхода к извлечению данных и знаний из текстов медицинской направленности, как содержащих табличные данные, так и без таковых. Поэтому обработка данных как в текстовом, так и в табличном виде осуществляется с помощью единого репозитория лексико-синтаксических шаблонов, написанных на языке LSPL [2], который хорошо себя зарекомендовал в решении задач анализа текстов на русском языке. Как было сказано выше, наш подход предполагает анализ контекста таблицы (заголовка, абзаца, в котором она находится) и ее содержимого. Поэтому управляемое онтологией программное обеспечение во время обхода онтологии устанавливает соответствие между имеющимся в онтологии описанием таблицы как части текста и конкретной распознаваемой таблицей. На рис. 1 представлена часть онтологии, описывающая знания о таблице как о части текста. Другая часть онтологии описывает таблицу в присущих реляционным базам данных формальным терминах [3]: домен, атрибут и т.д. Это необходимо для автоматического установления соответствия между метаданными о таблице и данными о ее содержимом.

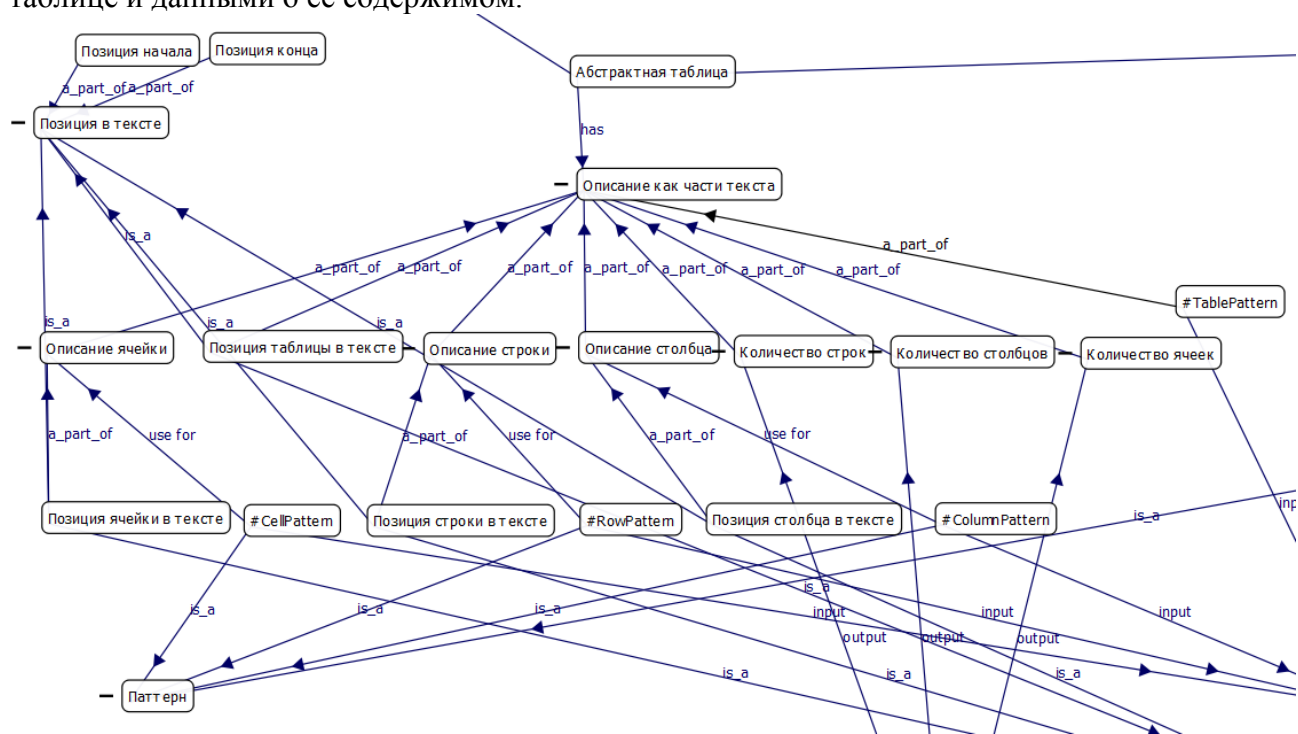


Рис. 1. Демонстрация части прикладной онтологии, построенной в среде визуального редактора онтологий ОНТОЛИС 2.0 [4]

Все полученные при обходе онтологии метаданные логируются. Более того, при пополнении БД извлеченными фактами из таблицы, ее контекст (извлеченный из текста заголовков, названия полей и т.п.) также сохраняется в базе данных в виде обычного текста. Это позволяет автоматизировать процесс дальнейшего анализа текста и связать данные, полученные из таблиц с фактами и знаниями, извлеченными из «нетабличной» части текста.

На основе анализа большого числа текстов медицинской тематики, включающих в себя таблицы (анкетные данные, данные медицинской диагностики, оценки рисков по возрастам, статистические данные по регионам и др.), были выделены следующий набор сущностей, в унифицированном виде описывающий типовую структуру этих таблиц: показатель, значение показателя, единицы измерения показателя и норма. Часть показателей, например, единицы и норма, могут отсутствовать, и тогда программная система извлекает необходимую информацию из своей предметной базы знаний онтологического характера. Если для извлечения нужных данных и знаний требуется поиск иных атрибутов, то это достигается простым пополнением предметной части онтологии без переписывания программного обеспечения по извлечению знаний, что гарантируется выбранным нами подходом на базе методов и средств онтологического инжиниринга.

Для примера рассмотрим фрагмент табличных данных с результатами общего анализа крови (Таблица 2)

**Таблица 2. Пример фрагмента табличных данных**

Общий анализ крови 15.02.2016	
Эритроциты (ОАК)	3,1
Гемоглобин (ОАК)	142
Абсолютное число эозинофилов (ОАК)	80

Как видно, таблица состоит из 2-х столбцов: показатель и его значение. При этом явно заголовки столбцов не заданы, хотя любой человек может без труда определить, что первый столбец содержит название показателя, а второй – его значение. В случае же автоматической обработки текста, соответствующий программный модуль обращается к онтологии и получает недостающие знания.

Концепция нашего подхода предполагает, что все необходимые знания, как о структуре таблиц, так и об их содержимом извлекаются при помощи онтологии. Мы предлагаем использовать прикладную онтологию, поэтому, помимо описания предметной области решаемой задачи, наша онтология содержит и онтологию самой задачи, в том числе и описание используемых лексико-синтаксических шаблонов, которые хранятся в онтологии как экземпляры класса Pattern (на они представлены как подклассы понятия «Паттерн»).

### **Разработка лексико-синтаксических шаблонов**

Рассмотрим несколько примеров лексико-синтаксических шаблонов, созданных нами на базе языка LSPL для извлечения данных из таблиц, представленных в символьном виде.

```
TableOpen = '<' 'w' ':' 'tbl' '>' =text> 'TableOpen'
```

```
TableClose = '<' '/' 'w' ':' 'tbl' '>' =text> 'TableClose'
```

Эти шаблоны используются для поиска начала и конца таблицы в тексте (автоматически определяются открывающий и закрывающий теги таблицы). С целью унификации текстовые документы с расширением docx просматриваются и анализируются в xml-представлении. Аналогично написаны шаблоны поиска открывающих и закрывающих тегов строк и ячеек. LSPL-утилита, созданная разработчиками языка LSPL, на выход подает не только найденную конструкцию, но и ее относительную позицию в тексте. Поэтому в данном случае важен лишь факт нахождения открывающих и закрывающих тегов в тексте.

Следующая группа шаблонов предназначена для нахождения в таблице текстовых фрагментов, в которых могут встречаться знаки препинания (например, перечисление в

скобках). Шаблоны Punct и TextPattern предназначены для обработки текста со знаками препинания, а шаблон TextTag ищет вышеперечисленные конструкции между текстовыми тегами <w:t> и </w:t>.

```
Punct = \,' =text>' | ',' =text> ' | ':' =text> ':' | ';' =text> ';' | '-' =text> '-' | '!' =text> '!' | '?' =text> '?'
```

```
TextPattern = [\'(\) W1 {[Punct] W2} [\'\)] =text> W1 W2
```

```
TextTag = '>' TextPattern '<' '/' 'w' ':' 't' '>' =text> 'find'
```

В результате применения представленных выше шаблонов для парсинга текстовых фрагментов таблицы, представленной на рис.2, будут автоматически извлечены следующие фрагменты текста: «общий», «анализ», «крови», «15.02.2016», «Эритроциты», «(ОАК)», «3,1» и т.д. Благодаря методам онтологического инжиниринга, исходя из содержания предметной онтологии, программная система определит, что это результаты направления исследований «Общий анализ крови», дата исследования 15.02.2016 и занесет в базу данных системы значения соответствующих показателей с учетом всех необходимых взаимосвязей.

Для этих целей разработана специальная структура базы данных для унифицированного хранения разнородных фактов, извлеченных из текстов при помощи онтологий. Если это данные из статистических таблиц, то будет установлена связь с наименованием таблицы, источником информационного ресурса (с указанием URL) и автором (авторами) соответствующего текста (если он указан). Если это данные медицинских анализов конкретного пациента, то будет установлена связь с данными о пациенте (в случае необходимости, обезличенными) и лаборатории, в которой было выполнено соответствующее исследование.

### **Заключение**

В данной работе описан управляемый онтологиями подход к автоматическому извлечению фактов из содержащих таблицы неструктурированных документов медицинской направленности. Акцент сделан на обработку текстов на русском языке, так как для решения аналогичных задач для текстов на английском языке уже имеются готовые решения. Благодаря методам онтологического инжиниринга, имеется возможность дальнейшего наращивания онтологической базы знаний системы без необходимости внесения изменений в исходный программный код интерпретатора онтологических знаний.

Описанная концепция позволяет унифицированным образом обрабатывать как предметные знания, так и знания о самой решаемой задаче. Поэтому онтология системы является прикладной и, помимо других видов знаний, включает в себя описание лексико-синтаксических шаблонов, используемых для извлечения и представленных в символьном виде таблиц. Планируется обогащение предметной части онтологии новыми знаниями из области медицины, а также пополнение репозитория лексико-синтаксических шаблонов с целью увеличения качества извлечения знаний и учета более широкого разнообразия предметного содержания табличных и текстовых данных. В данной статье демонстрируется применение описанной концепции к текстам из области медицины. Однако, поменяв содержание предметной онтологии системы, можно адаптировать наш подход к извлечению данных и знаний из текстовых таблиц в любой другой предметной области.



### **Библиографический список**

1. *Nikola Milosevic, Goran Nenadic* (2014) Table mining and data curation from biomedical literature (PhD Thesis), Manchester: University of Manchester.
2. LSPL [официальный сайт]. URL: <http://lspl.ru/> (дата обращения: 10.02.18).
3. *Казаков И. А.* Базы данных как онтологии / И. А. Казаков. А. В. Манцивода // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер.: Математика. - 2011- Т. 4, № 1. -С. 20-30.
4. *Постаногов И.С., Чуприна С.И.* Программа для ЭВМ ОНТОЛИС 2 .0. Свидетельство РОСПАТЕНТ № 2017610729 от 16.01.2017.
5. AUTOMATED MEDICAL DATABASE CONSTRUCTION USING TABLE MINING PRINCIPLES

### **THE AUTOMATED EXTRACTION OF KNOWLEDGE FROM TABULAR DATA IN PROBLEMS OF MEDICAL DIAGNOSTICS**

*Galieva Yulia A., Chuprina S.I.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, Gal\_Yulia@mail.ru

This paper presents an approach of automated database construction with the help of table mining methods. Using these AI-methods for data and knowledge extraction from unstructured or semi-structured medical documents presenting tables in textual form (scientific medical articles, patient questionnaires, personal medical tests) is demonstrated. The possibility of applying the unified approach to both extracting data from arbitrary texts and from tables in textual form is examined. The study aims to reduce the time that medical practitioners spent on data entry to allow them focusing on data analysis.

**Keywords:** Table Mining, Natural Language Processing, automated database construction, ontology engineering, lexico-syntactic patterns.

## РАЗРАБОТКА ПРОДУКЦИОННОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

*Гостева Екатерина Андреевна, Ланин Вячеслав Владимирович*

Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”, 614070, Россия,  
г. Пермь, ул. Студенческая, 38, vlanin@live.com

Подготовка научной публикации на английском языке – это очень сложный и трудоемкий процесс, особенно, если автор не является носителем языка. Актуальной проблемой на данный момент является отсутствие полноценных программных средств, автоматизирующих процесс корректуры. Предлагается применить производственную экспертную систему для анализа научных публикаций и предоставления рекомендаций по исправлению возможных ошибок в статье на основе сравнения с уже опубликованными компетентными статьями. Используя правила, сформированные экспертом в данной области, система выдает рекомендации по улучшению текста работы. Для реализации системы используется язык программирования С# и оболочка экспертных систем CLIPS (C Language Integrated Production System). В дальнейшем предлагается использовать систему в рамках разработки программного обеспечения для проведения корпусных исследований английского языка.

Ключевые слова: научные публикации, экспертная система, стилистическая корректировка.

В настоящее время научная деятельность является важным аспектом в работе специалистов различного профиля и образовании. Особую значимость имеют публикации в международных журналах, поскольку доступность статей на английском языке намного выше, чем на любом другом языке. За все время работы у издательства формируются собственные правила подготовки статей, определяются требования к их стилю, используемой терминологии, построению предложений, которые можно отследить в так называемых «компетентных статьях». Анализ данных статей и указание на несовершенства собственной работы позволят исследователю откорректировать статью, тем самым повысить шансы на публикацию. Основная проблема сейчас заключается в отсутствии программного средства, результатом работы которого являются рекомендации по внесению изменений в статью, указание на очевидные ошибки и варианты их решения.

**Постановка задач.** Важность разработки системы, которая сможет заменить человека в редактировании научных публикаций, уже давно признана научным сообществом. Современное академическое письмо является одним из наиболее отличительных регистров в английском языке. Однако, несмотря на то, что академическое письмо проработанное и точное, оно не соответствует стереотипам «грамотного» дискурса, что создает трудности для авторов, которые должны научиться выводить неопределенные смысловые отношения между грамматическими составляющими. Это объясняется тем, что у начинающих исследователей, в большинстве случаев студентов, отсутствуют специальные знания [1]. Таким образом, для того чтобы добиться успеха в академическом письме, студенты должны

---

Статья подготовлена в ходе проведения исследования № 17-05-0020 в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2017-2018 г. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации "5-100".

© Гостева Е.А., Ланин В.В., 2018

научиться эффективно писать этот стиль дискурса, в чем может помочь система, основанная на знаниях эксперта в данной области или так называемая экспертная система (ЭС).

Целью исследования является разработка продукционной экспертной системы для анализа научных публикаций на английском языке. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи: рассмотреть текущие решения и исследования в области разработки ЭС и анализа научных публикаций, изложить концептуальную основу для разработки и разработать прототип продукционной ЭС для анализа научных публикаций.

**Анализ литературы.** Паркинсон и Масгрейв провели сравнительный анализ особенностей написания публикаций компетентными и менее квалифицированными авторами. Они рассмотрели публикации двух групп: иностранных студентов и студентов программы «English for Academic Purposes», и представили большое количество статистических данных, основанных на результатах сопоставления работ. Они обнаружили, что для студентов сделать свой текст номинально сложным и более похожим на ведущие публикации становится все более важным. Используя конкретные примеры, они показали, как правильно использовать сложные существительные фразы в статьях, объяснили причины возникновения ошибок использования и продемонстрировали варианты их исправления [2].

Шаалан в своей статье также демонстрирует необходимость корректуры публикаций начинающих авторов и описывает реализацию «ArabicGramCheck» - инструмента, для обнаружения грамматических ошибок и выдачи рекомендации по их устранению. Несмотря на то, что программа была протестирована на простых арабских предложениях, подготовленных специалистом, это хороший аналог существующей проверки арабской грамматики. Представленные результаты также полезны для разработки последующих программ для проверки и улучшения публикаций [3]. Рекомендации из вышеупомянутых работ могут быть использованы в ЭС, разрабатываемой в рамках данной работы.

Основными компонентами ЭС являются база знаний, механизм логического вывода и пользовательский интерфейс. ЭС создается с помощью экспертов, инженеров, трансформирующих их знания в базу знаний, и программистов, реализующих ЭС [4]. Преимуществами ЭС являются доступность, снижение расходов на решение проблемы, надежность за счет использования правил импликации, которые делают рассуждения ЭС понятными и прозрачными, а также использование при разработке настраиваемых под проблемную область готовых решений - оболочек ЭС [5].

Вопреки сокращению количества разработок, экспертные системы актуальны и по сей день в таких функциональных областях как финансы и операционная деятельность, конкретнее, больше всего разработок было сделано в сфере бухгалтерских услуг и медицине [6]. В статье Милковски описывает работу системы корректуры, основанную на правилах для обнаружения неточностей в употреблении слов и выражений. Для выдачи результатов проверки в ней используются правила, основанные на шаблонах обнаружения ошибок, которые были предложены на форуме сообщества. Представленный формат правил обеспечивает гибкость в процессе выдачи рекомендаций и позволяет использовать логические операторы. Следует заметить, что работа системы основывается не на знаниях экспертов, а на знаниях пользователей, компетентность которых вызывает сомнения [7].

**Методы.** Основными методами данного исследования являются концептуальное моделирование, методы представления и управления знаниями и объектно-ориентированное программирование. Для моделирования системы используется нотация UML. Разрабатываемая ЭС – система со значительной обработкой информации, построенная с использованием объектно-ориентированных инструментов (например, язык С# и архитектурный шаблон MVC (Model-View-Controller)) и базы данных. С помощью CLIPS выполняются рассуждения с использованием ранее установленных правил для четко определенных и узких доменов. В качестве примера, приведен общий вид правила обнаружения маркера пассивного залога. Оно активизируется, когда в рабочей памяти появляется факт с атрибутом данного маркера, что показывает отклонение показателей

пользовательской статьи от эталонных (Рис. 1). Преимуществами CLIPS являются статистическая и динамическая проверка ограничений и возможность изменения базы знаний, когда новые правила и факты станут известны.

```
(defrule Answer
(marker (name ?n) (user_data ?ud) (comp_data ?cd) (step ?s))
(test (diap ?ud ?cd ?s))
=>
(if (< ?ud (diamin ?cd ?s))
then(assert (attribute (name ?n) (value low)))
else(assert (attribute (name ?n) (value high))))

(deffacts the-recommendation-rules
(rule(if ml is low)
(then bind best-ml "It is necessary to increase the use of
passive voice in this article")
(rule(if ml is high)
(then bind best-ml "Sometimes the passive voice is appropriate
or necessary, however try to use it sparingly"))))
```

Рис. 1. Правило обнаружения маркера пассивного залога

Система сравнивает показатели пользовательской и компетентных статей и выдает рекомендации по корректировке публикации. Данные результата анализа компетентных и пользовательской статей из модуля идентификации маркеров, который работает с применением системы обработки естественного языка GATE (General Architecture for Text Engineering), записываются в базу данных [8]. База знаний формируется из имеющихся статистических данных, затем составляются правила сравнения показателей, которые помещаются в рабочий список, управляемый машиной логического вывода. Следующий шаг заключается в прохождении программы по правилам и формировании списка рекомендаций, который в итоге выдается пользователю (Рис. 2).

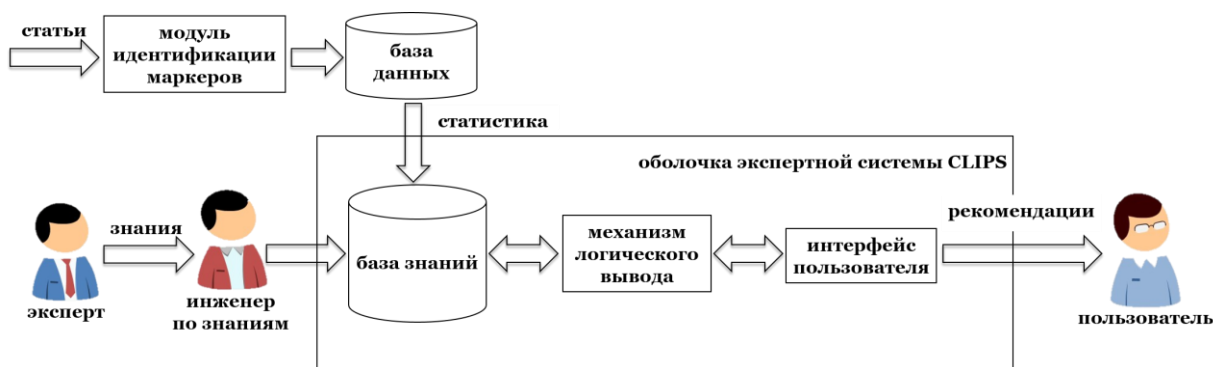


Рис. 2. Схема взаимодействия компонентов системы

В настоящее время с помощью дискурсивных маркеров сформирована база знаний ЭС. Кроме того, согласно полученным данным и показателям, разработан демонстрационный прототип ЭС. Система решает часть требуемой задачи, демонстрируя жизнеспособность метода инженерии знаний. База знаний включает 30 правил, сама ЭС разработана с использованием ASP.NET MVC Framework.

**Заключение.** В рамках исследования были поставлены задачи, решение которых позволило определить методы разработки и создать прототип ЭС для анализа публикаций. Результатом дальнейшей работы станет действующий прототип ЭС, который может быть внедрен в программное обеспечение для проведения корпусных исследований английского языка. Практические результаты заключаются в улучшении качества работ и увеличении шансов публикации статьи в международных журналах.

### Библиографический список

1. *Biber, D., Gray, B.* Challenging stereotypes about academic writing: Complexity, elaboration, explicitness // *Journal of English for Academic Purposes*. 2010. Vol. 9, PP. 2-20.
2. *Parkinson, J., Musgrave, J.* Development of noun phrase complexity in the writing of English for Academic Purposes students. // *Journal of English for Academic Purposes*. 2014. Vol. 14. PP. 48-59.
3. *Shalan, K. F.* ArabicGramCheck: a grammar checker for Arabic // *Software: Practice and Experience*. 2005.
4. *Valley, K.* Explanation in expert system shells: a tool for exploration and learning // *Intelligent Tutoring Systems Lecture Notes in Computer Science*. 1992. PP. 601-614.
5. *Lendel, V., Varmus, M.* The Expert System as a Proposal for Creating Innovative Strategy // *Journal of Competitiveness*. 2010.
6. *Wagner, W. P.* Trends in expert system development: A longitudinal content analysis of over thirty years of expert system case studies // *Expert Systems with Applications*. 2017. Vol. 76. PP. 85-96.
7. *Milkowski, M.* Developing an open-source, rule-based proofreading tool // *Software: Practice and Experience*. 2010.
8. *Ланин В.В., Шучалова Ю.С.* Исследовательский портал для анализа и оценки стиля научных публикаций // *Математика и междисциплинарный исследования – 2016*. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2016. С. 201-207.

### DEVELOPMENT OF A PRODUCTION EXPERT SYSTEM FOR THE ANALYSIS OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS IN ENGLISH

*Gosteva Ekaterina A., Lanin Viacheslav V.*

National Research University Higher School of Economics, 38, Studencheskaya st., Perm, 614070,  
Russia, vlanin@live.com

Preparation of a scientific publication in English is a very complex and lengthy process, especially if the author is not a native speaker. The actual problem now is the lack of complete and coherent software that automates the proofreading process. This work integrates expert systems and rules of formal academic English to analyze scientific publications and provide recommendations for correcting possible errors in the paper on the basis of comparison with already published competent articles. After receiving all feasible solutions generated by the expert, the system decides which recommendation to accept for a current publication according to rule priorities. For implementation, this work applied a programming model that transmits facts in C# and infers rules in expert system shell CLIPS (C Language Integrated Production System). In the future, it is proposed to use the system as part of the development of software for corpus research in English Studies.

Keywords: scientific publications, expert system, proofreading.

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРНЕТ-ПОРТАЛ ДЛЯ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ СТИЛЯ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

*Гуляев Вадим Юрьевич, Каликова Анастасия Рамилевна, Симонова Наталья Андреевна*

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 614070, Россия,  
Пермь, ул. Студенческая, 38, vyugulyaev@gmail.com, kar-pm@yandex.ru,  
natashasimonovaa@yandex.ru

В работе представлены промежуточные итоги работы по реализации Интернет-портала для проведения корпусных исследований академического английского языка. Формулируются требования к реализации, представлена архитектура решения, описываются технологические подходы к решению поставленных задач. Архитектура портала предполагает совместное функционирование множество гетерогенных компонентов: хранилище корпусов, компонент идентификации стилистических маркеров, компонент сбора статистики, компонент визуализации, компонент по взаимодействию с пользователем и т.д., кроме того архитектура должна предполагать возможность включения новых компонентов. В представленной работе особое внимание уделяется вопросам хранения и индексации больших массивов текстовой информации, интеграции компонентов портала на основе сервисно-ориентированной архитектуры и технологиям, обеспечивающим работу портала на стороне клиента.

Корпусная лингвистика, академический английский язык, портал, сервис-ориентированная архитектура

Широкое распространение задач и инструментов, связанных с информационными технологиями, в науках о естественных языках позволило лингвистам наряду с традиционными методами развивать такое направление как корпусная лингвистика. Данное направление основано на использовании так называемых корпусов, под которыми понимается представительная коллекция текстов по определенной тематике, доступная в электронной форме, т.е. набор документов или записей, собранных по определённому принципу: общего стиля, общего автора, общего жанра и т.д.. Таким образом, в отличие от классической лингвистики, корпусная лингвистика ориентирована на изучение практического применения языка, а не его теоретических аспектов [1]. Многие традиционные задачи языкознания решаются с помощью текстовых корпусов. Например, изучение отдельных словоупотреблений, общей динамики языка, машинный перевод и обучение языку (computer-assisted language learning), некоторые виды анализа текста. В целом поиск новых возможностей применения корпусов в различных областях – одна из основных задач корпусной лингвистики [2].

Корпусная лингвистика тесно связана с информационными технологиями. Сбор и обработка обширных корпусов требуют использования программного обеспечения и технологий, допускающих совместную работу множества удалённых пользователей [3]. Одной из таких задач является проверка соответствия текста академическому стилю. Для проверки значимости различных лингвистических характеристик при оценке качества стиля

---

Статья подготовлена в ходе проведения исследования № 17-05-0020 в рамках Программы «Научный фонд Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ)» в 2017 г. и в рамках государственной поддержки ведущих университетов Российской Федерации "5-100".

© Гуляев В.Ю., Каликова А.Р., Симонова Н.А., 2018

и читаемости текста, планируется проводиться исследование, основанное на сравнении встречаемости маркеров стиля в научных статьях, взятых в качестве эталонных, и учебных работ высокого и низкого качества (по мнению эксперта), Результаты такого исследования смогут быть использованы для формирования рекомендаций. В качестве теоретической базы для создания приложения экспертом был предоставлен список качественных критериев («маркеров») академического стиля речи. Список составлен на основе справочных и учебных материалов, а также Интернет-ресурсов по обучению академическому письму [4].

Функции сервисов, реализуемые порталом (Рис.), могут быть условно разделены на функции интерфейса, отвечающие за взаимодействие с пользователем, бизнес-логику – основные инструменты портала, предназначенные для анализа корпусов и формирования рекомендаций для отдельных статей, и работу с данными.

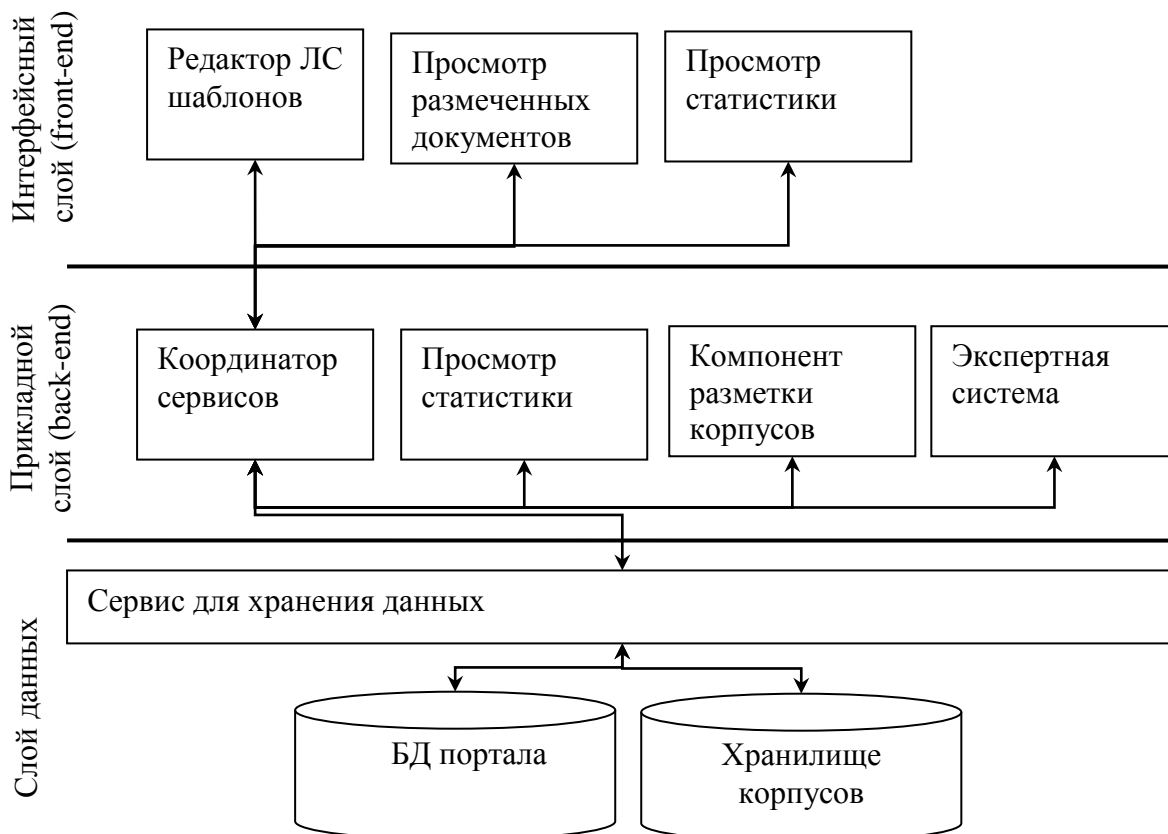


Рис. Архитектура портала

В качестве хранилища данных в системе будет выступать WCF-сервис, позволяющий хранить и получать информацию о корпусах и пользователях из баз данных – реляционной и нереляционной с применением индексации на основе естественно-языковой адресации. Нереляционная база данных, предназначенная для хранения текстов корпусов, основывается на документо-ориентированной СУБД Cosmos DB. Документо-ориентированный подход был выбран, так как обеспечивает более простую обработку больших объемов слабоструктурированной текстовой информации, а открытость структур (обычно XML или JSON) позволяет создавать запросы и к части содержимого документа, не загружая его полностью.

Применение индексации на основе естественно-языковой адресации в системе ICON показало следующие преимущества: линейная алгоритмическая сложность, уменьшение необходимой памяти, так как нет необходимости хранить индексы отдельно. Данный подход подразумевает использование цифровых кодов букв в качестве индекса. Каждый символ строки используется как путь в специальной многомерной структуре на основе дерева, где

каждый узел содержит массив указателей на каждую букву алфавита (на каждый цифровой код буквы), которые содержат либо искомое значение, либо ссылку на другое дерево [5].

Взаимодействие с пользователем будет осуществляться через WEB-интерфейс, что позволит использовать возможности портала на разных устройствах, у которых есть возможность пользоваться интернет браузером. Реализация взаимодействия с пользователем и с остальными компонентами системы реализовано посредством технологии ASP.NET.

Клиент в данном случае – это набор состоящий из html, css и js файлов, которые обращаются на серверную часть данного компонента визуализации. Результат аннотации визуально будет представлять из себя раскрашенный в разные цвета текст и набор маркеров, показ которых будет настраивать пользователь.

Сервер необходим для взаимодействия с другими компонентами системы и конвертации xml файла, который представляет из себя аннотацию к загруженной статье, в html разметку, которая позволит визуализировать результаты аннотации. Результаты аннотации будут направлены в сервис для работы с данными, чтобы в случае, если статья уже была ранее проаннотирована, то просто воспользоваться ранее полученным результатом.

Также предполагается, что решение будет масштабируемым и отказоустойчивым, и подходящим инструментом является платформа Microsoft Azure [6].

Лингвистический портал является сложной вычислительной системой с сервис-ориентированной архитектурой. Все вычисления происходят удаленно, а сами компоненты представляют из себя множество гетерогенных автономных компонентов. Стандартные методы интеграции уже не являются эффективными, требуется новые подходы.

Предметная область портала показывает, что порядок вызовов компонентов в ответ на действия пользователей определены. Такой порядок необходимо корректно описывать в рамках текущего бизнес-процесса. Для этого выбран стандарт Business Process Executive Language For Web Service (BPEL4WS). В нем существуют определенные языки описания и моделирования бизнес-процессов осуществляющих оркестрирование сервисов системы. Среди них был выбран Business Process Executive Language (BPEL). Такой выбор позволяет эффективно координировать работу слабосвязанных компонентов без детализации самих вычислений [7].

Разрабатываемый интегратор осуществляет универсальное управление разнородными компонентами, имеет визуальный редактор администрирования для формирования бизнес-процессов в рамках пользовательских требований портала и добавления новых гетерогенных компонентов (например, экспертных систем) в архитектуру портала, а также интерпретатор для непосредственного осуществления взаимодействия между компонентами.

Таким образом, была разработана сервис-ориентированная архитектура портала для корпусных исследований, в частности, проверки соответствия текста академическому стилю и формирование рекомендаций. Данная архитектура подразумевает возможность масштабирования с точки зрения хранения данных и с точки зрения количества используемых сервисов.

Также были выбраны и подходы к реализации: документо-ориентированный подход с применением индексации на основе естественно-языковой адресации для хранения данных, процессно-ориентированный подход управления компонентами портала. При реализации клиентской части будет использована технология ASP.NET и основной набор для разработки WEB-интерфейсов: html, css и js.



### Библиографический список

1. Бармина Е.И., Бушуев Р.Н., Котельникова Н.В., Ланин В.В., Плотникова О.А. Система для обработки корпусов текстов // В кн.: Математика и междисциплинарные исследования – 2016. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2016. С. 245-250.
2. Strinyuk S.A., Shuchalova Y., Lanin V. Academic Papers Evaluation Software / Application of Information and Communication Technologies (AICT), 2015 9th International Conference on, 14-16 Oct. 2015. Rostov-on-Don : IEEE, 2015. P. 506-510.
3. Scholz T., Conrad S. Style Analysis of Academic Writing // Natural Language Processing and Information Systems: 16th International Conference on Applications of Natural Language to Information Systems, Proceedings. NLDB 2011, Alicante, Spain, June 28-30, 2011. – С. 246-249.
2. Svetlana A. Strinuk, Lanin V. Analysis System of Scientific Publications Based on the Ontology Approach, in: Supplementary Proceedings of the 3rd International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST 2014) / Ed. by D. I. Ignatov, M. Y. Khachay, A. Panchenko, N. Konstantinova, R. Yavorsky, D. Ustalov. Vol. 1197: Supplementary Proceedings of AIST 2014. Ekaterinburg: CEUR Workshop Proceedings, 2014. P. 81-85.
3. Markov K., Ivanova K., Vanhoof K., Velychko V., Castellanos J. Natural Language Addressing. Sofia, Bulgaria: ITHEA, 2015.
4. Noman, I., Rehman, A. A comparative study of major service providers for cloud computing. Karachi: Center for Research in Ubiquitous Computing, 2013.
5. Michael Papazoglou, Willem-Jan van den Heuvel. Web Services Management: A Survey / IEEE Internet Computing – IEEE Computer Society, 2005.

### RESEARCH PORTAL FOR ACADEMIC PAPER ANALYSIS AND EVALUATION

*Guliaev Vadim Y., Kalikova Anastasiya R., Simonova Natalia A.*

National Research University Higher School of Economics, st. Studencheskaya, 38, Perm, Russia, 614070, vyugulyaev@gmail.com, kar-pm@yandex.ru, natashasimonovaa@yandex.ru

This paper presents intermediate results of implementation Internet-portal for corpus research of academic English. The requirements are formulating; the architecture of the solution is presented, and the technological approaches to solving the problems are described. Architecture of the portal assumes collaborative performance of the heterogeneous components: the corpora storage, the component for identifying stylistic markers, the statistics collection component, the visualization component, the user interaction component etc. Moreover, the architecture should involve the opportunity for the addition of new components. In this work, special attention is paid to the storage and indexing of the large amount of textual information, the integration of portal components based on the service-oriented architecture and technologies that support the portal on the client side.

Keywords: corpus linguistics, academic English, portal, service-oriented architecture.

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ IBM MAXIMO ASSET MANAGEMENT И ЕЕ ВНЕДРЕНИЕ НА ПРИМЕРЕ КОМПАНИИ «ЛУКОЙЛ»**

*Есюнин Никита Олегович*

Пермский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»614070, г. Пермь, ул. Студенческая, 38,  
esyunin\_nikita@mail.ru

Статья посвящена внедрению информационных технологий на предприятии. Переход к информационным технологиям обусловлен необходимостью оптимизации процессов учета, анализа и документооборота компании. В статье рассматривается информационная система IBM MAXIMO ASSET MANAGEMENT, ее основные характеристики и особенности применения на предприятии, плюсы и преимущества программы на примере западных компаний. Кроме этого, в статье рассмотрено внедрение данной программы в российской компании «ЛУКОЙЛ». Анализируется ход работы программы, учет ее результатов.

Ключевые слова: информационная система, информационные технологии, эффективность работы.

Внедрение информационных технологий на предприятии для автоматизации ключевых бизнес-процессов, ведения электронного документооборота, обеспечение учета уже давно стало одним из важнейших критериев осуществления эффективного и экономически оправданного бизнеса любой отрасли. В условиях динамически прогрессирующего рынка зачастую именно аналитическая инфраструктура автоматизированной системы дает необходимые конкурентные преимущества между игроками одного сегмента. Однако стоимость инвестиций, необходимых на внедрение автоматизированной системы управления, ее эксплуатацию и поддержку часто является негативным фактором, влияющим на экономическую эффективность компании в целом. Поэтому перед бизнес-заказчиками представленный вопрос стоит особенно остро. Чтобы оправдать необходимые затраты на реализацию данных проектов, руководство нуждается в качественных методиках экономической оценки результативности внедрения ИТ-инфраструктур.

IBM Maximo Asset Management является одним из построенных на единой платформе центров управления различными видами физических активов предприятий в течение всего их жизненного цикла.

MAXIMO – информационная система, которая управляет активами предприятия и охватывает все аспекты паспортизации фондов и активов, регистрации, выделения ресурсов как человеческих, так и материальных, составления планов мероприятий ТОиР и их календарного планирования, выполнения работ, калькуляции затрат для выполненных работ, ведения документации и использования подрядчиков, продавцов и поставщиков оборудования, материалов и запчастей. Система имеет мощные средства подготовки отчетов.

В системе ведётся учёт дефектов, происходит планирование мероприятий ТОиР и годовых остановов, управление закупочной и складской деятельностью. Инструменты

MAXIMO позволяют проводить инвентаризации и анализ работ ТОиР с целью минимизации затрат.

Базовый программный пакет IBM MAXIMO Asset Management предназначен для управления активами широкого круга предприятий.

MAXIMO Asset Management является целостной системой, построенной на платформе IBM, и позволяет осуществлять наиболее эффективные процессы управления активами предприятия, а также выявлять узкие места и скрытые потенциалы в таких сферах бизнес-процессов как: производство, инфраструктура, энергетика, транспорт, коммуникации.

АСУ затрагивает такие сферы как:

- управление надежностью и функциональной доступностью оборудования;
- управление затратами на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонты основных производственных фондов;
- управление загрузкой производственных мощностей;
- обеспечение выполнения требования по промышленной, экологической безопасности и охране труда;
- построение системы эффективного управления производительностью труда и основных производственных фондов;
- выработка своевременных производственных и управленческих решений.

IBM Maximo Asset Management состоит из шести модулей управления:

- управление активами (asset management) – управление активами на протяжении всего жизненного цикла;
- управление закупками (procurement management) – поддержка и сопровождение операций снабжения в масштабах предприятия, включая закупки, оборудования, сервисов и пополнение товарно-материальных запасов;
- управление материальными запасами (materials management) – формирование и обеспечение доступа к полной информации о связанных с активами материальных запасах, их использовании и потребности в них;
- управление договорами (contract management) – сопровождение договоров купли-продажи, аренды, лизинга, гарантийных, трудовых договоров, договоров на поставку программного обеспечения, главных/групповых договоров, комплексных договоров, а также специфических видов договоров, определяемых пользователем;
- управление обслуживанием (service management) – формирование запросов на обслуживание, а также контроль выполнения и обновление запросов на обслуживание, посланных ранее;
- управление работами (work management) – планирование обслуживания активов – от генерации заявок и нарядов на проведение работ до регистрации фактически осуществленных мероприятий.

Согласно исследованиям консалтинговой группы А. Т. Kearney, изученные случаи внедрения ЕАМ-систем вида АСУ MAXIMO, характеризовались получением, в среднем следующих выгод:

- повышение производительности работ ТОиР на 29%;
- сокращение складских запасов на 21%;
- уменьшение случаев нехватки запасов на 29%;
- увеличение доли плановых ремонтов на 78%;
- сокращение аварийных работ на 31%;
- сокращение времени ожидания запчастей на 29%;
- более выгодные цены накупаемые ТМЦ на 18%.

В рамках реализации Программы стратегического развития Группы «ЛУКОЙЛ» в 2008 году был создан новый бизнес-сектор – «Электроэнергетика». В обновленной стратегии компании на 2010–2019 годы новому бизнес - сектору было уделено особое внимание. В

долгосрочной перспективе сектор «Электроэнергетика» станет важным фактором роста денежных потоков и акционерной стоимости компании.

Реализация планово-предупредительного ремонта в системе начинается с создания рабочего задания: оно формируется с целью описания, планирования, управления и документирования результатов работ, которые должны быть выполнены для обеспечения продуктивной работы актива. Потребность формирования рабочего задания определяется наступлением момента осуществления профилактического обслуживания актива по графику.

Рабочее задание должно быть создано на основе заявки, поступившей от пользователя или на основе информации, полученной из системы в виде даты наступления планово-предупредительного ремонта. В своей заявке пользователь, помимо краткого названия инцидента (дефекта), должен дать подробное описание проблемы. Если дефект поддается классификации, то указывается класс сбоя и неисправности, номер заявки, дату и имя оформлявшего инцидент, вносятся в систему автоматически. Рабочее задание, в зависимости от настроек, может создаваться автоматически при сохранении пользователем заявки на обслуживание или вручную.

После создания инцидента и фиксирования необходимых требований в системе, рабочее задание утверждается специалистом службы ТОиР, после чего выполняется планирование работ. Для рабочего задания имеется возможность заранее указать определенный план работ или ввести последовательность необходимых операций выполнения работы вручную. Так как в рабочем задании имеется описание дефекта актива, система позволяет просмотреть все способы ее устранения и назначить соответствующий план работ.

В рабочем задании для каждой задачи или операции, а также для всего плана в целом могут быть заданы необходимые исполнители, материалы и инструменты.

В рабочем задании должны быть указаны следующие уточняющие элементы:

- планы работ по технике безопасности;
- планируемые сроки выполнения рабочего задания;
- лица ответственные за выполнение рабочего задания;
- рабочие задания, связанные с текущим (аналогичные);
- счет главной книги и т.д.

На следующем этапе должна быть осуществлена проверка доступности и назначение ресурсов для выполнения рабочего задания, представленный этап должен включать в себя следующие пункты:

- проверка доступности трудовых ресурсов может быть выполнена для каждой работы отдельно или для всего плана работ в целом;
- выбор конкретного исполнителя осуществляется на основе его специализации и квалификации, с учетом степени загруженности;
- работам из рабочего задания назначаются исполнители и определяется время начала работы;
- назначенным исполнителям отправляется уведомление о включении их в План работ.
- проверка доступности материалов может быть выполнена для каждой работы отдельно или для всего плана работ в целом;
- подходящие и существующие в наличии материалы резервируются или отпускаются со склада для выполнения работ.

Разработка календарных графиков не поддерживается в самой системе АСУ МАХИМО, поэтому в большинстве случаев необходима реализация интеграции со смежными средствами управления проектами, например, «Primavera» или «Microsoft Project».

Учет и контроль результатов в системе осуществляется следующим образом. Когда работа закончена, в системе выполняется калькуляция и контроль фактического потребления

ресурсов: персонала, материалов и инструментов. Так же осуществляется учет фактических трудозатрат. После представленного процесса возможно планирование последующей работы.

Заключительным этапом реализации процесса планово - предупредительного ремонта в системе является три следующие операции:

- анализ результатов (результаты работы анализируются по стоимости, определяются принципы усовершенствования процесса);
- обновление остатков (в системе изменяются остатки запасных частей и материалов на складах, при необходимости регистрируется их возврат);
- создание заявки на покупку запасных частей и материалов для реализации последующего ППР, а также, чтобы обеспечить нормативное их количество на складе.

При внедрении ПО МАХИМО не стоит забывать лишь об одном, что для эффективной работы представленного программного обеспечения необходима интегрированная система блока (модуля) Финансы, приоритетнее SAP ERP/R3 FI.

При анализе эффективности внедрения систем ИТ стоит должное внимание уделить «неосозаемым» выгодам, так как в большинстве случаев они составляют основную ценность процесса увеличения стратегического преимущества предприятия. Поэтому были выбраны ключевые критерии неосозаемых выгод в отношении различных фокус - групп, состоящих из бизнес - заказчиков. Вследствие чего была получена полноценная структура приоритетных качественных показателей.

Эффективность работы сотрудника так же увеличивается после внедрения АСУ на предприятие. Исходя из этого, имеется возможность подсчитать общую экономию времени на одного сотрудника при реализации и обработки инцидента, связанного с процессом планово- предупредительного ремонта. Так же были созданы приоритетные критерии, по которым возможен расчет времени на обработку инцидентов.

#### **Библиографический список**

1. *Анущенко К. А.* Финансово-экономический анализ / К. А. Анущенко, В.Ю. Анущенко. М.: Дашков и К, 2008. 404 с.
2. *Борисова Е. А.* Эффективные коммуникации в бизнесе. Издательство: Питер, 2005. С. 208.
3. *Бобошко Н. М.* Финансово-экономический анализ: Учебное пособие / Н. М. Бобошко и др. М.: ЮНИТИ, 2016. 383 с.
4. *Колесников С.* Об оценке эффективности внедрения и применения ERP систем, Альпина Бизнес-Букс, 2009. 189 с.
5. *Strassmann Paul A.* How E-Business Affects Knowledge Capital. Oligopsonies in B2B exchanges are likely to inhibit corporate gains in knowledge // Knowledge Management, 2000.
6. Официальный сайт нефтяной компании «ЛУКОЙЛ». URL: <http://www.lukoil.ru/> (дата обращения: 20.03.2018).

**CHARACTERISTIC OF THE INFORMATION SYSTEM IBM MAXIMO ASSET  
MANAGEMENT AND ITS INTRODUCTION ON THE EXAMPLE OF THE LUKOIL  
COMPANY**

*Esynin Nikita O.*

National Research University Higher School of Economics, 38 Studencheskaya str, Perm, Russia,  
614070

The article is devoted to the introduction of information technologies in the enterprise. The transition to information technology is due to the need to optimize the processes of accounting, analysis and workflow of the company. The article discusses the information system IBM MAXIMO ASSET MANAGEMENT, its main characteristics and application features in the enterprise, plus the advantages and benefits of the program on the example of Western companies. In addition, the article discusses the implementation of this program in the Russian company "LUKOIL". The course of work of the program, the account of its results is analyzed.

Keywords: information system, information technology, work efficiency.

## ПЛАНИРОВАНИЕ ТРУДОЗАТРАТ ПРОЕКТА ПРИ ФИКСИРОВАННОМ БЮДЖЕТЕ» В ТИПОВОЙ КОНФИГУРАЦИИ 1С: УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТНОЙ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

*Г. Е. Зелинский, И. И. Григорьева*

Тюменский государственный университет, г. Тюмень, ул. Володарского, 6  
garkan1@gmail.com

В статье рассматривается проблема распределения трудозатрат проекта. Для того чтобы решить эту проблему, была создана обработка «Планирование трудозатрат проекта» для типовой конфигурации «1С:РМ Управление проектами».

Ключевые слова: проект, трудозатраты, планирование, распределение, бюджет, ресурс.

На рынке наиболее распространены проекты с фиксированной ценой (когда сроки и бюджет планируются заранее). При оценке проекта, команда кроме рисков и проблем должна учитывать подходы заказчиков [1].

При неудачном управлении проектом команда легко превышает сроки и бюджет, далее работают себе в убыток. Это говорит о том, что оценка проекта была проведена без достаточного анализа требований, неправильно расписали задачи. Для того чтобы предполагаемые трудозатраты были точными, при оценке проекта, нужно рассмотреть проблемы и попытаться их решить.

**Проблемы.** Проблемы, с которыми можно столкнуться при планировании трудозатрат:

- очень часто появляются новые требования от заказчика
- увеличение трудозатрат при планировании
- некачественные требования
- недооценка рисков
- отсутствие анализа и проектирования

У каждого проекта должна быть концепция. Концепция проекта – это ключевой документа, который используется для принятия решений в ходе всего проекта [2].

Для того чтобы избежать проблем при планировании трудозатрат, нужно грамотно оценить перечень работ. Для этого можно использовать собственный опыт аналогичных проектов. Для того чтобы понять, сколько будет стоить реализация проекта, требуется оценить и определить ресурсы необходимые для его выполнения.

Ресурсы оказывают влияние практически на все основные параметры проекта (стоимость, сроки, качество). Специфика проекта заключается в том, что ресурсы вносят основной вклад в его стоимость. Все остальные затраты, как правило, незначительны, по сравнению с этими расходами. Не нужно забывать, что в проекте есть множество процессов, которые требуют ресурсы. Распределение трудозатрат по основным производственным процессам выглядит следующим образом (Рис. 1):

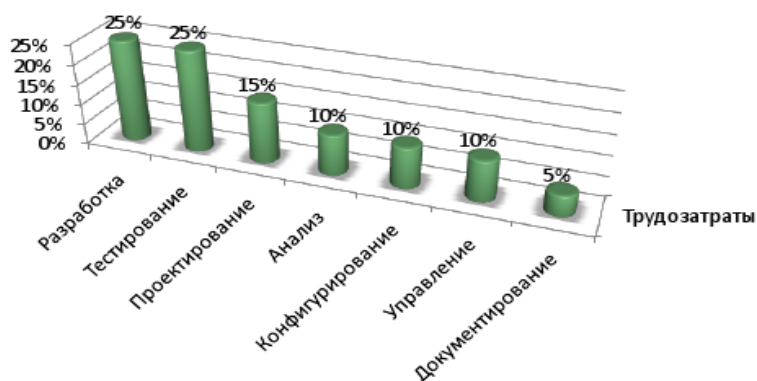


Рис. 1. Распределение трудозатрат по основным производственным процессам

Одним из важных показателей при распределении трудозатрат является трудоемкость. Трудоемкость - это сумма затрат живого труда в человеко-часах рабочего времени на производство единицы продукции в натуральном или стоимостном выражении как по всей номенклатуре выпуска, так и по отдельным видам работ и операций [3].

Оценка эффективности трудового времени – задача принципиально важная. Зная, сколько времени потребуется для выполнения поставленной задачи, можно оптимизировать рабочий процесс и заметно повысить производительность предприятия. А для того чтобы провести оптимизация, нередко требуется рассчитать человеко-часы [4].

Наиболее простая формула подсчета (1):

$$Ч = K \cdot T \quad (1)$$

где, Ч - человеко-час, К - количество работников, Т - время, проведенное ими на рабочих местах (фактически затраченное на работу).

Целью разработки данной обработки является: распределение трудозатрат при фиксированном бюджете; уменьшение временных затрат при заполнении.

**Обработка.** Для типовой конфигурации 1С:PM Управление проектами КОРП была разработана обработка, которая позволяет распределить трудозатраты по проекту при фиксированном бюджете.

Решение “1С:PM Управление проектами КОРП” - совместный продукт компании ITLand и фирмы "1С", при разработке которого учитывались мировые стандарты управления проектами и портфелями проектов, а также опыт автоматизации российских проектно-ориентированных предприятий [5].

В рамках поставленной задачи система позволяет:

- Назначать трудовые ресурсы на проект
- Назначать роли и планировать трудозатраты проектной задачи
- Назначать роли и планировать трудозатраты

Стояла задача доработать систему для более удобного распределения трудозатрат.

В систему во вкладку “Роли трудовых ресурсов” в табличную часть было добавлено поле “%” (Рис. 2) и во вкладку “Фин. планы” (Рис. 3) были добавлены кнопка “Рассчитать” и поле “Бюджет” для расчета трудозатрат исходя из бюджета, выделенного на проектную задачу.



С их помощью можно равномерно распределить трудозатраты на проектную задачу.

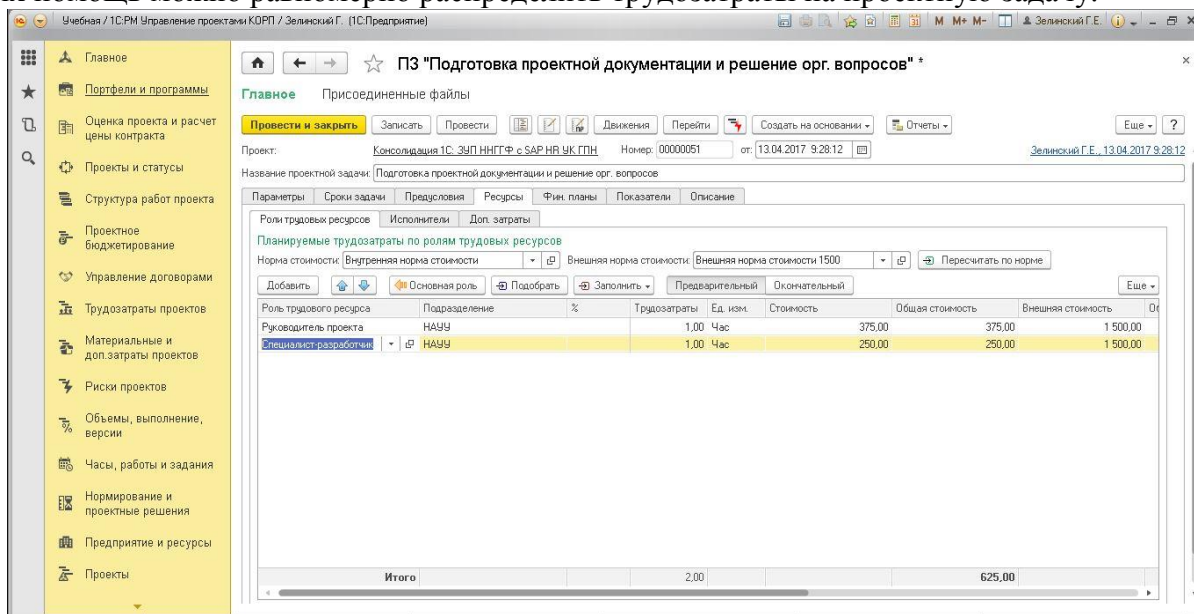


Рис. 2. Поле “%” в табличной части

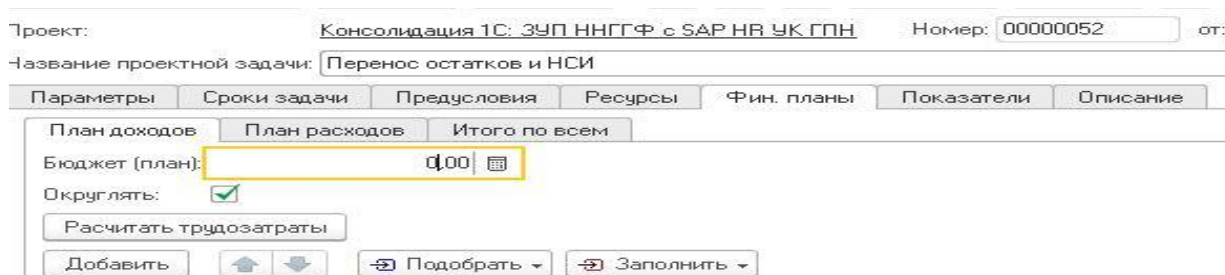


Рис. 3. Поле “Бюджет” и кнопка “Расчитать трудозатраты”

В поле “%” вводится процент, исходя из которого будет распределен бюджет.

После заполнения поля бюджет во вкладке “Фин. Планы” можно рассчитать трудозатраты нажав кнопку “Расчитать трудозатраты” (Рис. 4). После нажатия кнопки, были рассчитаны трудозатраты (Рис. 5).

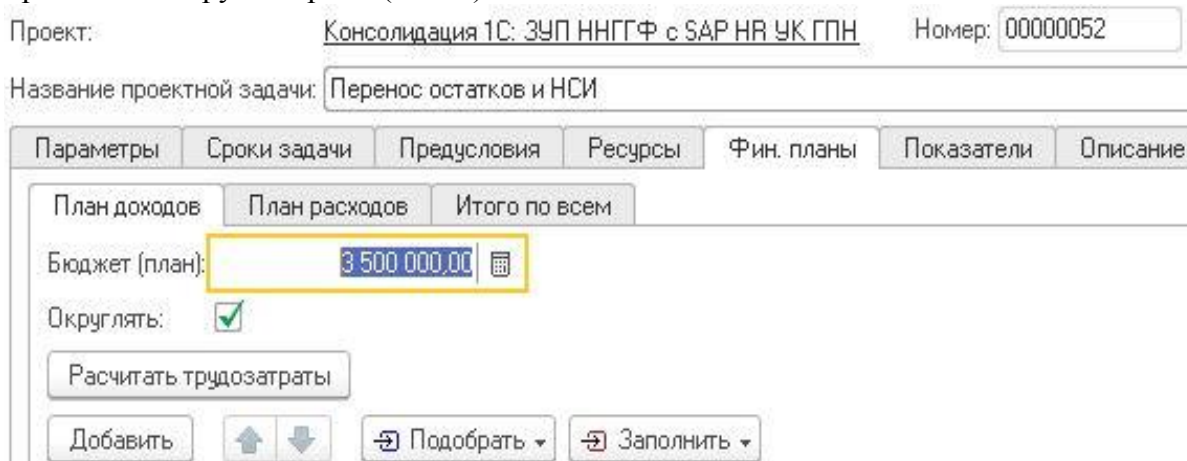


Рис. 4. Заполненное поле “Бюджет”

Проект: **Консолидация 1С: ЗУП ННГГФ с SAP HR УК ГПН** Номер: 00000052 от: 13

Название проектной задачи: **Перенос остатков и НСИ**

Параметры | Сроки задачи | Предусловия | Ресурсы | Фин. планы | Показатели | Описание

Роли трудовых ресурсов | Исполнители | Доп. затраты

Планируемые трудозатраты по ролям трудовых ресурсов

Норма стоимости: **Внутренняя норма стоимости** Внешняя норма стоимости: Внешняя норма

Добавить | ↑ ↓ | ← Основная роль | ⇄ Подобрать | ↻ Заполнить | Предварительный

Роль трудового ресурса	Подразделение	%	Трудозатраты	Ед. изм.
Специалист-разработчик	НАУЧ	20,00	467,00	Час
Руководитель проекта	НАУЧ	80,00	1 867,00	Час

**Рис. 5. Распределение трудозатрат на проектную задачу**

Также была разработана обработка, которая исходя из бюджета позволяет распределить трудозатраты по всему проекту. В обработке есть поле “Проект”, в котором можно выбрать существующие проекты. После выбора проекта, открывается список всех проектных задач (Рис. 6).

Распределить | Еще ▾

Проект: **Консолидация 1С: ЗУП ННГГФ с SAP HR УК ГПН**

Общая сумма: 0,00 | Округлять:  | Распределить по: **Сумма** | Процент

N	Название проектной задачи	Процент
1	Подготовка проектной документации и решение орг. вопросов	
2	Перенос остатков и НСИ	

**Рис. 6. Обработка “Расчет трудозатрат проекта”**

В поле “Общая сумма” вводится бюджет, который был выделен на проект. Потом этот бюджет распределяется по проектным задачам.

Есть два способа распределения:

1. Бюджет распределяется в процентах. Напротив каждой задачи указывается процент бюджета.
2. Бюджет распределяется по сумме. Напротив каждой задачи указывается сумма от бюджета.

После заполнения нажимается кнопка “Распределить”. Происходит распределение трудозатрат проекта (Рис. 7).

Распределить | Еще ▾

Проект: **Консолидация 1С: ЗУП ННГГФ с SAP HR УК ГПН**

Общая сумма: **5 000 000,00** | Округлять:  | Распределить по: **Сумма** | Процент

N	Название проектной задачи	Процент
1	Подготовка проектной документации и решение орг. вопросов	30,00
2	Перенос остатков и НСИ	70,00

**Рис. 7. Распределение трудозатрат исходя из введенных данных**

В конфигурации для каждой роли в поле “%” указывается процент и исходя из процента происходит распределение по всем проектным задачам (Рис. 8 и Рис. 9).

Проект: Консолидация 1С: ЗУП ННГФ с SAP HR УК ГПН Номер: 00000051 от:

Название проектной задачи: Подготовка проектной документации и решение орг. вопросов

Параметры | Сроки задачи | Предусловия | Ресурсы | Фин. планы | Показатели | Описание

Роли трудовых ресурсов | Исполнители | Доп. затраты

Планируемые трудозатраты по ролям трудовых ресурсов

Норма стоимости: Внутренняя норма стоимости Внешняя норма стоимости: Внешняя нор

Добавить |    Основная роль  Подобрать  Заполнить  Предварительный

Роль трудового ресурса	Подразделение	%	Трудозатраты	Ед. изм.
Специалист-разработчик	НАУЧ	60,00	600,00	Час
Руководитель проекта	НАУЧ	40,00	400,00	Час

Рис. 8. Распределение трудозатрат для первой задачи

Проект: Консолидация 1С: ЗУП ННГФ с SAP HR УК ГПН Номер: 00000052 от: 1

Название проектной задачи: Перенос остатков и НСИ

Параметры | Сроки задачи | Предусловия | Ресурсы | Фин. планы | Показатели | Описание

Роли трудовых ресурсов | Исполнители | Доп. затраты

Планируемые трудозатраты по ролям трудовых ресурсов

Норма стоимости: Внутренняя норма стоимости Внешняя норма стоимости: Внешняя норм

Добавить |    Основная роль  Подобрать  Заполнить  Предварительный

Роль трудового ресурса	Подразделение	%	Трудозатраты	Ед. изм.
Специалист-разработчик	НАУЧ	20,00	467,00	Час
Руководитель проекта	НАУЧ	80,00	1 867,00	Час

Рис. 9. Распределение трудозатрат для второй задачи

Алгоритм доработки типовой конфигурации представлен в листинге 1.

Листинг 1. Выбор проекта и заполнение табличной части

Процедура ПроектПриИзмененииНаСервере()

Запрос = Новый Запрос;

Запрос.Текст =

```
"ВЫБРАТЬ РАЗРЕШЕННЫЕ РАЗЛИЧНЫЕ
| РегСвойства.ПроектнаяЗадача КАК ДокументСсылка,
| РегСвойства.ЗадачаРодитель,
| РегСвойства.ЭтоПакетРабот,
| РегСвойства.ЭтоМодельПакетаРабот,
| РегСвойства.ЭтоВежа,
| ВЫБОР
```

```
    КОГДА РегСвойства.НазваниеЗадачи = ""
```

```
    ТОГДА
```

```
РегСвойства.ПроектнаяЗадача.НазваниеПроектнойЗадачи
```

```
    ИНАЧЕ РегСвойства.НазваниеЗадачи
```

```
КОНЕЦ КАК НазваниеПроектнойЗадачи,
```

```
РегСДР.КодСДР,
```

```
РегСДР.Ссылка КАК СсылкаНаЗеркальныйПроект
```

```
ИЗ
```

```
РегистрСведений.упоСвойстваПроектныхЗадач.СрезПоследних(
```



### **Библиографический список**

1. Оценка трудозатрат выполнения проекта [Электронный ресурс]. URL: <https://habrahabr.ru/company/inforpulse/blog/134719/>
2. Лекции по управлению программными проектами [Электронный ресурс]. URL: [http://citforum.ru/SE/project/arkhipenkov\\_lectures/6.shtml](http://citforum.ru/SE/project/arkhipenkov_lectures/6.shtml)
3. Трудоемкость [Электронный ресурс]. URL: [http://garevna.ucoz.com/metodmat/labor\\_figures/laboriousness.pdf](http://garevna.ucoz.com/metodmat/labor_figures/laboriousness.pdf)
4. Расчет человеко-часа [Электронный ресурс]. URL: <http://moneymakerfactory.ru/spravochnik/poschitat-cheloveko-chasyi/>
5. 1С:PM Управление проектами КОП [Электронный ресурс]. URL: <http://solutions.1c.ru/catalog/pm-corp/features>

### **PLANNING OF LABOUR COSTS OF THE PROJECT AT THE FIXED BUDGET IN THE STANDARD CONFIGURATION 1С: MANAGEMENT OF THE DESIGN ORGANIZATION**

*G.E. Zelinsky, I.I. Grigorieva*

Tyumen State University, 6, Volodarsky st., 625003, Russia [garkan1@gmail.com](mailto:garkan1@gmail.com)

In article the problem of distribution of labor costs of the project is considered. To solve this problem, has been created processings "Planning of labor costs of the project" for a standard configuration "1С:PM Project management".

Keywords: Project, labor costs, planning, distribution, budget, resource.

## РАЗРАБОТКА BPMS ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ

*Кашапов Анфис Хафизович*

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 614060, Россия,  
г. Пермь, ул. бульвар Гагарина 37а, anfiskashapov@gmail.com

*Куликов Александр Сергеевич*

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 614060, Россия,  
г. Пермь, ул. бульвар Гагарина 37а, Sashakeduc@inbox.ru

В данной статье изучены архитектура классической BPM-системы, преимущества BPM-системы, проблемы BPM-систем и их основные функции. Техническое и методическое обеспечение не успевает меняться в соответствии с требованиями современного общества к организации бизнес-процессов в области управления. Понятность и наглядность бизнес-процессов компании осуществляется за счет их моделирования с использованием специального программного обеспечения, возможности динамического изменения их моделей силами участников и с использованием программных систем. Система BPM, являясь последним достижением менеджмента на современном этапе, наиболее подходит для создания конкурентного преимущества компаний, работающих в условиях динамично изменяющейся внешней среды.

Ключевые слова: BPM, BPMS, бизнес-процесс, управление в организации, информационные технологии, модели бизнес-процессов.

Эффективное использование ресурсов организации и соответственно увеличение конкурентоспособности в настоящее время является основным элементом роста современных организаций, именно поэтому организации стремятся внедрить процессный подход. Процессный подход использует BPM (Business Process Management). BPM – это система управления бизнес-процессами, концепция процессного управления организацией, рассматривающая бизнес-процессы как особые ресурсы предприятия, непрерывно адаптируемые к постоянным изменениям.

Организации, которые стремятся получить наибольшую выгоду от применения процессного подхода, используют специальные технические средства управления бизнес-процессами, называемые системами для управления бизнес-процессами (Business Process Management Systems). Процессный подход является более трудоемким для управления, так как модели BPM требуют постоянного мониторинга. Для решения данной проблемы разрабатываются системы, автоматизирующие BPM. Они позволяют снизить сложность разработки систем и неопределенность данных, так как модели бизнес-процессов являются исполняемыми в системах BPMS и могут быть созданы без участия программистов. Основная идея BPMS заключается в том, что процесс сначала моделируется в графической среде и представляет собой набор графических элементов в определенной нотации моделирования, затем задается набор различных атрибутов процесса, после чего процесс запускается на исполнение (пользователи в своих рабочих местах начинают получать задания). Любое изменения процесса после этого изменяет его поведение в исполняемой

среде. BPMS – это технологическое программное обеспечение, которое поддерживает и дополняет концепцию BPM [1].

Применение таких средств предполагает, что процессно-ориентированная организация достаточно сильно развита, для такой трансформации. Предполагается, что в организации определены бизнес-процессы и его участники, один из участников назначен владельцем процесса и ему делегированы полномочия и ответственность по управлению данным бизнес-процессом. Реализована матричная структура при управлении регулярной деятельностью. Участник бизнес-процесса подчинен как функциональному руководителю, так и владельцу бизнес-процесса, что связано с применением одновременно двух подходов к управлению регулярной деятельностью: функционального и процессного. На практике в основном получается использование двух подходов одновременно, используются сильные стороны каждого. Если же ситуация обратная и в организации реализуется только функциональный подход, то проводятся следующие мероприятия, которые разделены на несколько этапов: прежде всего, выявляется сеть бизнес-процессов компании, затем процессы ранжируются по значимости, документируются и моделируются «как есть» разрабатывается модель AS-IS. Затем проводится анализ построенных моделей и выявление «узких мест» процессов. На следующей стадии на основании полученных результатов строятся модели «как надо» TO-BE, с соблюдением той же последовательности действий, что и в случае с моделями AS-IS. Далее все полученные и систематизированные знания об организации переносятся на специальные технические средства – ПО BPMS.

При описании бизнес-процессов для более быстрой и полной систематизации всех знаний по бизнес-модели, можно воспользоваться фреймворками и референтными моделями. Использование фреймворков и референтных моделей повышает ценность и эффективность использования набора моделей как единого целого. Существует ряд широко известных моделей. Фреймворк может варьироваться от простой концептуальной пирамиды до сложных наборов артефактов моделирования и правил, определяющих, где что будет расположено.

Организации со сложной структурой внедряют у себя фреймворки, которым следуют все проекты моделирования, например, такие как [2, с. 203]:

1. архитектурный фреймворк федеральных ведомств США FEAF;
2. архитектурный фреймворк Министерства обороны Великобритании MODAF;
3. архитектурный фреймворк Министерства обороны США DoDAF;
4. архитектурный фреймворк TOGAF.

Использование данных фреймворков позволяет справиться со сложностью подобных организаций, также, они являются основой для сравнения разных проектов внутри одного подразделения. Управлением фреймворка занимается в основном корпоративный архитектор, но каждый специалист процессного управления должен ему следовать, чтобы избежать неопределенности и противоречий в используемой модели [3].

Референтная модель - это шаблон схемы организации бизнеса, они представляют собой эталонные схемы, разработанные для конкретных бизнес-процессов на основе реального опыта внедрения в различных компаниях по всему миру. Большинство процессов у организаций схожи, модель может послужить хорошей точкой начала разработки процессной организации.

Референтные модели позволяют предприятиям начать разработку собственных моделей на базе уже готового набора функций и процессов. Они предоставляют перечень типовых бизнес-процессов организации, модель бизнес-процесса представляет собой совокупность логически взаимосвязанных функций. Для каждой функции указывается исполнитель, входные и выходные документы или информационные объекты. Элементы (функции и документы) референтной модели бизнес-процесса содержат ссылки на соответствующие объекты информационной системы, а также документы и другую информацию (инструкции,

ответственные лица), расположенную в репозитории проекта. Отсюда и название — референтная модель (в переводе с английского ссылочная модель).

Организации получают преимущество и много выиграют, если будут использовать для классификации процессов универсальную или отраслевую референтную модель. Референтные модели процессов бывают [2, с. 241]:

1. общими, пригодными для разнообразных компаний и организаций (процессный фреймворк APQC PCF, референтная модель операционной цепочки создания ценности VRM);
2. специфичными для отрасли (референтная модель цепочек поставки SCOR);
3. специфичными для области процессов (библиотека по ИТ-инфраструктуре ITIL);
4. специфичными для технологии (SAP).

BPMS в совокупности представляет собой набор средств, который формирует общую рабочую среду для ИТ и бизнеса. Рабочая среда подразумевает следующее: авторизация сотрудника в системе, в действительности он авторизуется в одном из модулей BPMS, который исполняет определенные модели бизнес-процессов и бизнес-правил.

В большинстве BPMS моделирование бизнес-процессов ведется в стандартной для данных систем нотации BPMN. Элементы модели изображают задачи, решения, автоматические действия и т. д. Каждый элемент представляет собой своего рода небольшой специализированный программный модуль. Эти модули исполняются в порядке, заданном потоком в модели бизнес-процесса. С задачами связаны экранные формы, спроектированные средствами BPMS. BPMS также позволяет спроектировать отчеты.

На модели процесса можно указать точки вызова унаследованных приложений или других внешних программ, сформировав таким образом цепочку автоматических задач. Для этого необходим тот или иной вариант интерфейса. Сервис-ориентированная архитектура в комплексе с адаптерами и ускорителями интеграции приложений (EAI) значительно упрощает реализацию таких интерфейсов, снижая таким образом затраты времени и риски [2, с. 314].

Также модель может содержать специальные средства контроля за интенсивностью потока работ и маршрутами, сигнализацию о задержках и т. п.

Правила кодируются, и машина бизнес-правил, являющаяся частью BPMS, отслеживает их использование. Изменение правила отражается на исполнении всех моделей, которые к нему обращаются, — это существенно упрощает внесение изменений.

В модель процесса можно также добавить измерение эффективности. Измерения можно реализовать через бизнес-правила или через интерфейсы к внешним программам. Результаты могут отображаться на комплексных панелях управления, которые также выдают предупреждения и рекомендуемые действия, опять-таки на основе правил. Всю эту среду можно легко и быстро менять. Большинство изменений происходит на уровне модели или правил. Многие BPMS дают возможность провести имитационное моделирование, чтобы убедиться в целостности изменения и качестве данных и уменьшить риск ошибки. Это дает команде возможность через серию итераций найти оптимальное решение. Внедрение при этом сводится к переключению ПО на новую версию и к необходимой переподготовке персонала.

Внедрение BPMS в организации, направление относительно новое и малоизученное, тема является интересной и актуальной. Доступных источников информации по этой тематике и научных работ существует достаточно мало, часто работы представлены на иностранном языке. В большинстве случаев работы в области BPM/BPMS это статьи экспертов компаний, которые занимаются внедрением данных систем, а также материалы по описанию концепции BPM. Тематика раскрывающая комплексный подход к разработке BPMS в организации, затрагивается гораздо реже.

Сегодня многие организации реализовали с помощью BPMS решения специфических проблем, внедрив данную систему, но не выработав при этом стандарты и не утвердив



методологию. Еще больше осложняет дело наличие в одной организации или даже департаменте BPMS от разных поставщиков, вокруг каждой из которых сложилась отдельная группа людей от бизнеса и IT отдела, каждая со своим уставом и видением решения проблем.

Пока преждевременно говорить о наличии каких-то общепризнанных на уровне отраслей или компаний стандартов в области разработки и внедрения BPMS. BPM и технологии BPMS все еще молоды, и задачей сегодняшнего дня является выработка таких стандартов, методик. А пока надо двигаться вперед и разрабатывать для своей компании стандарты использования ПО, методы моделирования и т. п.

### **Библиографический список**

1. Глоссарий BPM [Электронный ресурс] – АВРМР, 2018. – Режим доступа: <http://abpmp.org.ru/resource/bpm-glossary/> (дата обращения 04.03.2018)
2. Свод знаний по управлению бизнес-процессами: BPM СВОК 3.0. – М.: Альпина Паблшер, 2016.
3. *Мошегова А.Т., Пашков П.М., Бобров Л.К.* Развитие профессиональных компетенций в области управления бизнес-процессами. Инжиниринг предприятий и управление знаниями. 2016. С. 109–117.

### **DEVELOPMENT OF BPMS FOR MANAGEMENT OF THE ORGANIZATION**

*Kashapov Anfis K.*

National Research University Higher School of Economics, Gagarin Boulevard 37a, Perm, Russia,  
614060, anfiskashapov@gmail.com

*Kulikiv Aleksandr S.*

National Research University Higher School of Economics, Gagarin Boulevard 37a, Perm, Russia,  
614060, anfiskashapov@gmail.com

This article studied the architecture BPM, the benefits BPM, problems BPM and the main functions studied. Technical and methodological support does not have time to change in accordance with the requirements of modern society to the organization of business processes in the field of management. Clarity and visibility of business processes at the expense of their simulations using special software, the possibility of dynamic changes of their models by the participants and with the use of software systems. BPM-System, being last achievement of management at the present stage, most approaches for creation of competitive advantage of the companies working in the conditions of dynamically changing environment.

**Keywords:** BPM, BPMS, business process, management in the organizations, information technology, business process models.

## PEER ASSESSMENT: ИНТЕГРАЦИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО И ПОРЯДКОВОГО ОЦЕНИВАНИЯ С MOODLE

*Копылов Никита Романович, Дацун Наталья Николаевна*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, nick5477@yandex.ru, nndatsun@inbox.ru

В статье описывается проектирование и реализация информационной системы, позволяющей интегрировать количественные и порядковые методы Peer Assessment с LMS MOODLE. Отмечено, что одним из основных недостатков МООС является недостаточная мотивация обучающихся. Она является следствием несвоевременной обратной связи от инструктора курса, который не успевает прорецензировать все работы студентов за приемлемое время. Решением данной проблемы является Peer Assessment. Суть этого подхода заключается в том, что обучающиеся оценивают работы других обучающихся. В данной работе рассмотрены алгоритмы для Peer Assessment и агрегации множества выставленных оценок. Предложено усовершенствование метода PeerRank количественного оценивания, которое используется в разработанной системе; для порядкового оценивания использован метод FOPA. В практической части статьи описаны проектирование и реализация информационной системы и интеграция с MOODLE.

Ключевые слова: Peer Grading, Peer Assessment, оценивание сверстников, количественное оценивание, порядковое оценивание, MOODLE, МООС.

В последнее время Массовые Открытые Онлайн-Курсы (МООС) получили очень широкое распространение по всему миру. Они предлагают неограниченный доступ к курсам, которые раньше читали только в высших учебных заведениях. Основной проблемой МООС-платформ является малая доля студентов, заканчивающих курс (5-26% от количества всех зарегистрированных) [1]. Это объясняется тем, что у обучающихся отсутствует мотивация. В свою очередь, отсутствие мотивации объясняется несвоевременной обратной связью от инструктора курса из-за большого количества участников.

Данную проблему позволяет решать подход к оцениванию работ обучающихся, который называется Peer Assessment (Peer Grading, оценивание сверстников или совместное оценивание). При использовании этого подхода, каждому обучающемуся назначается несколько работ других обучающихся для проверки и оценивания. Итоговый результат обучающихся вычисляется на основе оценок, выставленных другими обучающимися (грейдерками). Существует два метода Peer Assessment: количественный (Cardinal) и порядковый (Ordinal). Cardinal Peer Assessment (CPA) – метод, суть которого заключается в выставлении количественной оценки за работу. Чаще всего, в данном методе используются рубрики – руководство по оцениванию работ, состоящее из критериев и уровней соответствия работы данному критерию, включая количество начисляемых баллов за каждый уровень соответствия. Ordinal Peer Assessment (OPA) – метод, суть которого заключается в сравнении работ друг с другом и ранжировании их от лучшей до худшей.

LMS MOODLE является одним из средств для создания онлайн-курсов [2] и МООС [3]. Преимуществом MOODLE является свободное распространения (GNU GPL) данного инструмента и возможность создавать расширения для него. Начиная с версии 3.4 в данной

LMS доступен такой инструмент Peer Assessment как «Семинар». Однако, в нем отсутствует ОРА, а алгоритмы формирования итоговой оценки сводятся к вычислению среднего арифметического всех выставленных оценок.

Целью данной работы является проектирование и реализация системы CPA и ОРА, которая бы позволила интегрировать в MOODLE актуальные методы Peer Assessment. В связи с этой целью были поставлены следующие задачи:

1. Рассмотреть существующие методы Peer Assessment и алгоритмы вычисления итоговых оценок;
2. Разработать систему для Peer Assessment, реализующую наиболее эффективные методы и алгоритмы CPA и ОРА.

### **Алгоритмы для Peer Assessment и вычисления итоговых оценок**

В CPA основными алгоритмами вычисления консолидированной оценки является среднее арифметическое, но он не учитывает недобросовестное оценивание. Для устранения этого недостатка применяется алгоритм PeerRank [4], который вознаграждает/наказывает грейдеров за качественные/не качественные оценки соответствующими баллами. В ОРА применяют два подхода: метод Борда [5] и Fuzzy Ordinal Peer Assessment (FOPA) [6]. Метод Борда основан на парном сравнении альтернатив (лучше/хуже), но он не учитывает степень сравнения (насколько лучше/насколько хуже). Метод FOPA устраняет недостаток метода Борда, вводя различные степени сравнения, каждой из которых соответствует определенный вес. Результаты сравнения работ (порядковые оценки) затем будут использоваться при вычислении итоговых оценок обучающихся. Также в методе используется теория нечетких множеств для вычисления веса каждой порядковой оценки.

### **Усовершенствование алгоритма PeerRank**

При тестировании алгоритма PeerRank экспериментальным путем были получены значения коэффициентов для более корректного вознаграждения/наказания грейдеров. Один из коэффициентов оказывает влияние на вес оценок, выставленных самому грейдеру другими студентами; второй учитывает степень добросовестности этого грейдера. Таким образом, было выявлено, что при равенстве обоих коэффициентов алгоритм сильно завышает итоговые оценки, в то время как, при существенно различающихся коэффициентах алгоритм показывает корректное поощрение добросовестных студентов и наказание недобросовестных.

### **Проектирование и реализация системы для Peer Assessment**

На этапе проектирования информационной системы (ИС) были разработаны шесть программных модулей (плагин для платформы MOODLE, модуль авторизации, модуль загрузки курсов и заданий, модуль распределения работ обучающихся, модуль оценивания, модуль алгоритмов вычисления итоговых оценок) и связи между ними. Пять из шести модулей (кроме плагина для платформы MOODLE) были распределены между тремя проектами: Domain (бизнес-логика предметной области), Infrastructure.Db (функционал взаимодействия с БД ИС), WebApp (пользовательский интерфейс).

На рис. изображены потоки данных между MOODLE и разработанной ИС с точки зрения преподавателя и студента. Условные обозначения: 1 - запрос идентификатора пользователя; 2- идентификатор пользователя; 3 - запрос на получение данных о пользователе; 4 - данные пользователя; 5 - запрос на получение данных о курсах и заданиях; 6 - данные о курсах и заданиях; 7 - запрос, проверяющий подписан ли пользователь на курс; 8 - данные о том, подписан пользователь на курс или нет; 9 - выгрузка оценок в MOODLE.

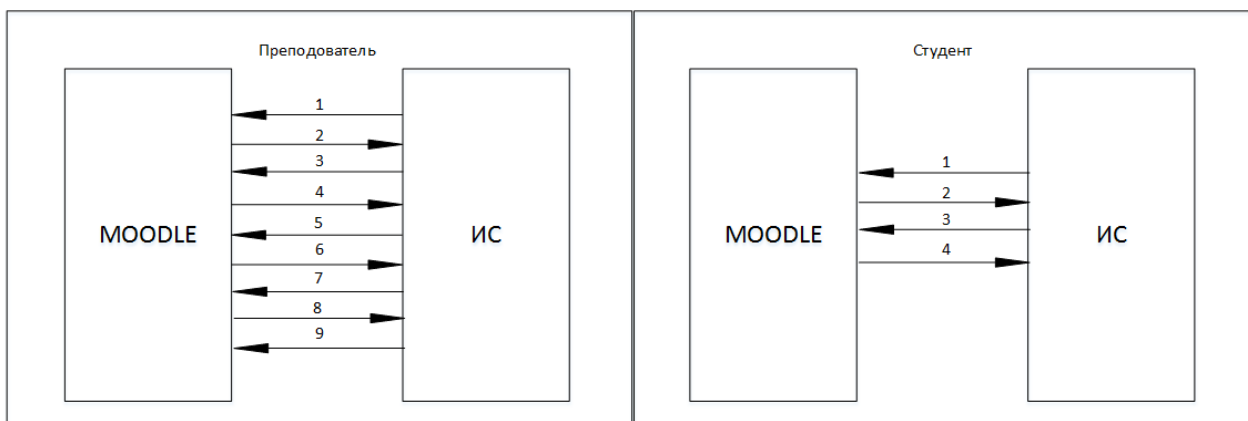


Рис. Поток данных между MOODLE и ИС с точки зрения преподавателя и студента

Для реализации данной системы использован язык программирования C# в среде программирования Microsoft Visual Studio, фреймворк ASP.NET MVC Core. Для интеграции LMS MOODLE и разработанной системы был создан специальный плагин для MOODLE, который называется Peer Grading Module. Он доступен в MOODLE как один из "Элементов курса". При разработке плагина использовался язык программирования PHP. Объем программного кода составляет 8070 строк на C# и 1494 строк на PHP.

#### Библиографический список

1. *Das A.K., Das A., Das S.* Present Status of Massive Open Online Course (MOOC) initiatives for Open Education Systems in India – An Analytical Study // *AJ MS*. 2015. №7. С. 67-80.
2. *Simionescu S., Šuníková D., Kubincová Z.* Gamification of peer assessment in learning management system // *Carpathian Control Conference (ICCC) 18th International*, 2017. – С. 571-575.
3. *Даун Н.Н., Уразаева Л.Ю.* MOODLE как платформа массовых открытых онлайн курсов // *Инновационные процессы в науке и технике XXI века: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) студентов, аспирантов, учёных, педагогических работников и специалистов-практиков, посвященной 35-летию филиала Тюменского индустриального университета г. Нижневартовске.* – Тюмень: ТИУ, 2016. – С. 269-273.
4. *Walsh T.* The PeerRank method for peer assessment // *Proceedings of the Twenty-first European Conference on Artificial Intelligence*, 2014. – С. 909-914.
5. *Caragiannis I., Krimpas G., Voudouris A.* How effective can simple ordinal peer grading be? // *EC '16 Proceedings of the 2016 ACM Conference on Economics and Computation*, 2016. – С. 323-340.
6. *Capuano N., Loia V., Orcioli F.* A Fuzzy Group Decision Making Model for Ordinal Peer Assessment // *IEEE Transactions on Learning Technologies*. 2017. №2. С. 247-259.

## **PEER ASSESSMENT: INTEGRATION CARDINAL AND ORDINAL GRADING WITH MOODLE**

*Kopylov Nikita R., Datsun Natalya N.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, nick5477@yandex.ru,  
nndatsun@inbox.ru

The article describes the design and implementation of an information system that allows the integration of cardinal and ordinal methods Peer Assessment with LMS MOODLE. It is noted that one of the main disadvantages of MOOC is the lack of motivation of students. It is the result of untimely feedback from the course instructor, who does not have time to review all the work of students for an acceptable time. The solution to this problem is the Peer Assessment. The essence of this approach is that students evaluate the work of other students. In this paper, we consider algorithms for Peer Assessment and aggregation of the set of estimates. The improvement of the PeerRank method of cardinal grading, which is used in the developed system, is proposed; for ordinal grading the FOPA method was used. The practical part of the article describes the design and implementation of the information system and integration with MOODLE.

Keywords: Peer Grading, Peer Assessment, cardinal grading, ordinal grading, MOODLE, MOOC.

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА РАСПОЗНОВАНИЯ РЕЧИ С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ

*Кучумов Артем Ильдусович*

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 614070, Россия,  
г. Пермь, ул. Студенческая, 38, duketemon@yandex.ru

В последние годы начал появляться большой интерес к информационным системам, которые предоставляют механизмы взаимодействия системы и пользователя посредством голосовых команд. На данный момент имеется огромное множество решений, которые позволяют преобразовывать человеческую речь в текст. Самые популярные решения, такие, как Google Cloud Speech API или Yandex SpeechKit, платные и требуют постоянный доступ к интернету. В этой статье речь пойдет о решениях, которые не требуют доступ к интернету, а также, для исследовательских целей, являются абсолютно бесплатными. Статья нацелена на то, чтобы помочь разработчикам информационных систем с выбором доступного и качественного инструментального средства для распознавания речи. Данная статья содержит краткое описание и сравнительный анализ трех инструментальных средств распознавания речи.

Ключевые слова: искусственный интеллект, распознавание речи, инструментальные средства с открытым исходным кодом.

С давних пор люди мечтали о роботах, которые могли бы выполнять тяжелую и рутинную работу за них, о источнике информации, который обладал бы опытом и знаниями человечества и ещё о многом другом, что было описано в трудах футуристов. Прошло много лет и мечты футуристов стали превращаться в реальность. В конце двадцатого века был изобретен Интернет и началось его активное внедрение в человеческую жизнь. Через некоторое время, после изобретения Интернета, последовало бурное развитие методов искусственного интеллекта. Такие вещи как рекомендации товаров в интернет-магазинах, беспилотные автомобили и голосовые помощники стали обыденной вещью для современного человека. Далее речь пойдет об одной из технологий искусственного интеллекта: распознавание речи.

Применение технологий распознавания речи является одним из существующих трендов в разработке информационных систем. Интерес пользователь к таким системам есть и в ближайшее время он будет только возрастать. Так, например, согласно исследованиям [1], в январе 2018 года было совершено более 1 миллиарда голосовых запросов к поисковым системам, что составляет примерно 20% от общего количества запросов. Согласно исследованиям [2], к 2020 году, доля голосовых запросов достигнет 50% от общего количества запросов. Для использования технологий распознавания речи существует много различных решений, в этой статье мы рассмотрим и сравним три open-source инструментальных средства. Первым делом определим критерии, по которым будем сравнивать инструментальные средства.

1. Поддерживаемые естественные языки
2. Язык программирования, на котором написана библиотека
3. Режим работы
4. Генерация речи (Text-To-Speech)
5. Лицензия

Первое инструментальное средство, которое мы рассмотрим будет Kaldi. Kaldi<sup>1</sup> – одно из новейших инструментальных средств для распознавания речи разработанное в университете Джона Хопкинса. Первая версия была выпущена 14 мая 2011 года и на момент написания статьи, библиотека всё ещё поддерживается и периодически обновляется. Большая часть библиотеки написана на языке программирования C++, также используются такие языки программирования, как C, Python и Perl. Благодаря используемым алгоритмам данный продукт способен работать с любыми естественными языками. Kaldi представляет собой самодостаточный продукт, который способен работать в офлайн режиме. Данный продукт распространяется под лицензией Apache License версии 2.0, которая является одной из наименее ограничительных лицензий. Возможность генерации речи по тексту не предусмотрена.

Следующий продукт, который мы рассмотрим, будет CMUSphinx. CMUSphinx<sup>2</sup> или же просто Sphinx – это набор библиотек распознавания речи, разработка которых ведется в университете Карнеги-Меллона. Sphinx поддерживает работу со следующими языками и диалектами:

1. Американский английский
2. Британский английский
3. Французский
4. Китайский (Мандарин)
5. Немецкий
6. Русский

Также имеется возможность для построения моделей для работы с другими языками. Sphinx имеет активное сообщество, которое насчитывает более 400 пользователей что позволяет вести активную работу над проектом и систематически выкладывать новые версии. Библиотека общего назначения написана полностью на языке программирования Java. Помимо основной библиотеки имеются узконаправленные решения. Например, имеется библиотека для встраиваемых систем и библиотека для мобильных устройств. Обе библиотеки реализованы на языке программирования C. Все библиотеки CMUSphinx способны работать в офлайн режиме. Инструментальные средства CMUSphinx распространяются под BSD-подобной лицензией, что позволяет использовать их в коммерческих проектах. Возможность генерации речи по тексту не предусмотрена.

Последнее инструментальное средство, которое мы рассмотрим будет НТК. Hidden Markov Model Toolkit<sup>3</sup> или НТК – это инструментарий для распознавания речи разработанный в лаборатории машинного обучения Кембриджского университета. На сегодняшний день, права на данный продукт принадлежат компании Microsoft<sup>4</sup>, однако она поощряет внесение изменений и использование исходного кода продукта. Данный продукт работает с любыми естественными языками и имеет возможность преобразовывать текст в речь. НТК написан на языке программирования C. Для работы инструментального средства не требуется доступ к интернету.

---

<sup>1</sup> <http://kaldi-asr.org>

<sup>2</sup> <https://cmusphinx.github.io>

<sup>3</sup> <http://htk.eng.cam.ac.uk>

<sup>4</sup> <https://www.microsoft.com>

Результаты сравнения представим в виде таблицы 1.

**Таблица 1. Агрегированные результаты**

	Kaldi	Sphinx	HTK
Поддерживаемые естественные языки	Все	Американский английский, Британский английский, Французский, Китайский (Мандарин), Немецкий, Русский	Все
Язык программирования, на котором написан продукт	C++, C, Python, Perl	Java, C	C
Режим работы	офлайн	офлайн	офлайн
Генерация речи (Text-To-Speech)	Отсутствует	Отсутствует	Присутствует
Лицензия	Apache License версии 2.0	BSD-подобная	Своя

В целом, любой из трех рассмотренных продуктов является отличным средством для распознавания речи. HTK, помимо распознавания речи, предоставляет полезную возможность преобразовывать текст в речь. Sphinx имеет специализированные решения, которые имеют только необходимый набор компонент для решения некоторой задачи. Kaldi представляет собой простое инструментальное средство без каких-либо дополнений.

#### **Библиографический список**

1. *Alpine.AI* - Intelligent Google Assistant apps and Amazon Alexa skills. [Электронный ресурс] URL: <https://alpine.ai/voice-search-trends> (дата обращения: 02.03.2018).
2. *Campaign: marketing, advertising and media news & analysis*. [Электронный ресурс] URL: <https://www.campaignlive.co.uk/article/just-say-it-future-search-voice-personal-digital-assistants/1392459> (дата обращения: 02.03.2018).

#### **OPEN-SOURCE TOOLKITS FOR SPEECH RECOGNITION**

*Kuchumov Artem I.*

National Research University Higher School of Economics, 38, Studencheskaya st., Perm, 614070, Russia, [duketemon@yandex.ru](mailto:duketemon@yandex.ru)

In recent years, a great deal of interest has begun to appear in the information systems that operate in the negotiations. At the moment there are a huge number of solutions that allow you to convert human speech into text. The most popular solutions, such as Google Cloud Speech API or Yandex SpeechKit, are paid and require constant access to the Internet. In this article we will talk about solutions that do not require access to the Internet, and, for research purposes, are absolutely free. The article is aimed at helping developers of information systems with the choice of an affordable and high-quality speech recognition toolkit. The article contains a brief description and a comparative analysis of three speech recognition toolkits.

Keywords: artificial intelligence, speech recognition, open-source toolkits.



## ПРОКЛАДКА МАРШРУТА ПО КАРТЕ ДЛЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ

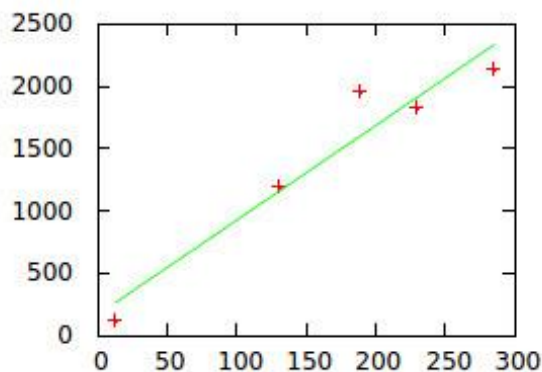
*Леонов Евгений Русланович, Курушин Даниил Сергеевич*

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, leonovevgenii2015@yandex.ru

В данной статье рассмотрена реализация алгоритма прокладки маршрута предназначенная для использования в составе многофункционального роботизированного комплекса, который разрабатывается в ПНИПУ на кафедре ИТАС. Проведено сравнение вычислительной сложности данной реализации с предыдущей версией алгоритма прокладки маршрута, который был основан на  $A^*$ . Обоснована необходимость разработки нового алгоритма. Алгоритм реализован на языке python и использует в качестве исходных данных карты проекта Open Street Map. Преимущество данного алгоритма по скорости вычисления составляет до 10 раз. Так же, в статье приведен способ реализации алгоритма с использованием модуля логического программирования ruDatalog для языка python. В статье представлена частичная реализация рекурсивной части алгоритма.

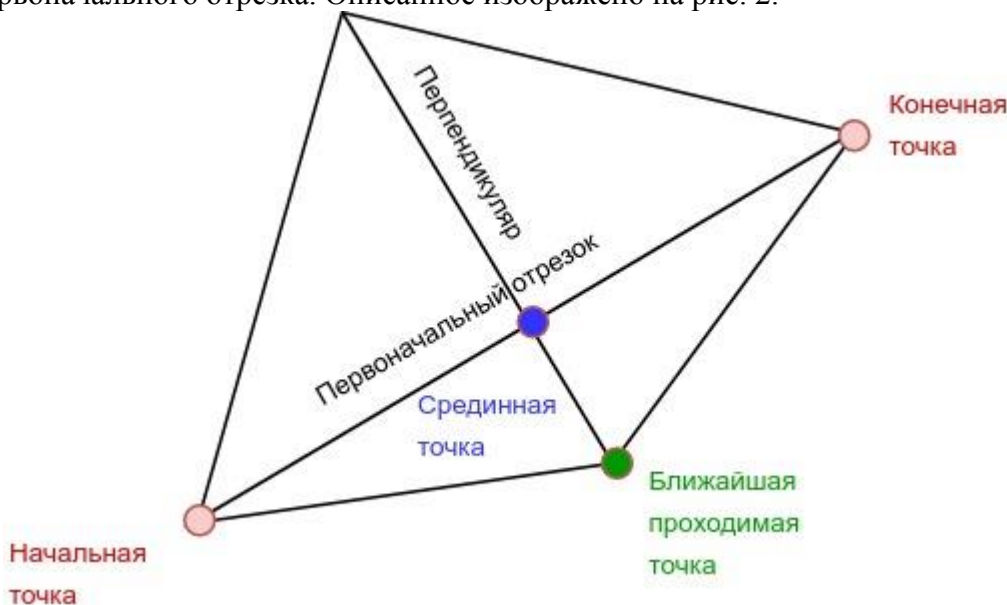
Ключевые слова: прокладка маршрута, алгоритм, робот, pydatalog, логическое программирование.

В ПНИПУ на кафедре ИТАС ведется разработка многофункционального роботизированного комплекса [1]. В его основные задачи входит мониторинг окружающей обстановки с помощью датчиков, контроль состояния своих подсистем, передвижение по местности. Для последней задачи необходимо составление маршрута к целевой точке и следование по нему. В предыдущей реализации использовался алгоритм, основанный на  $A^*$  [2]. Данный алгоритм имеет экспоненциальную сложность по времени выполнения и работает медленно на необходимой выборке данных. Прокладка или перепрокладка маршрута требует неприемлемо длительных вычислений порядка 5-10 минут, для чего необходимо останавливать движение робота. Для решения проблемы был предложен другой алгоритм, вычислительная сложность которого линейная (Рис. 1). По оси абсцисс объекты находящиеся на карте, по оси ординат количество обращений к ним. Длина маршрута при измерении сложности не учитывалась. На практике, прокладываемый маршрут, в обоих случаях не превышал 10 км. Приведем описание алгоритма.



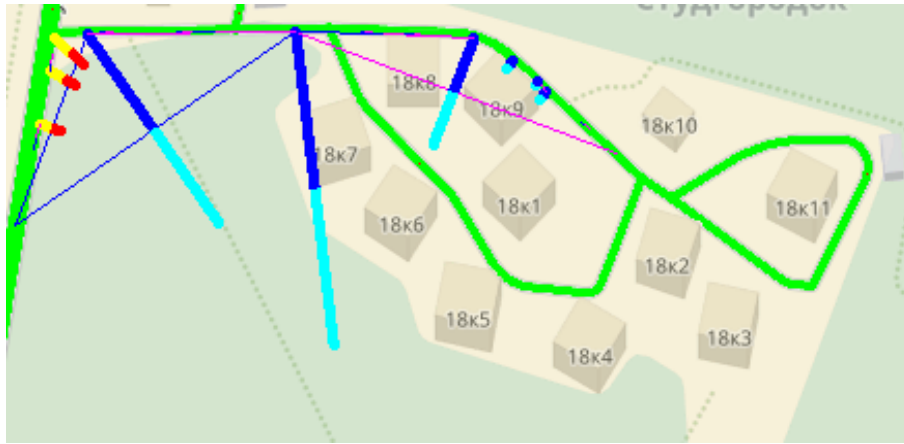
**Рис. 1** Определение вычислительной сложности предложенного алгоритма

Устанавливаются начальная и конечная точки. Посередине полученного отрезка высчитывается проходимость. Проходимость представляет собой интервал от 0 до 1 (0 — проходимо, 1 — абсолютно непроходимо). Если точка считается не проходимой, то откладывается перпендикуляры от срединной точки в обе стороны от первоначального отрезка до тех пор, пока не будет найдена ближайшая приемлемая по проходимости точка. Далее общий путь состоит уже не из одного отрезка, а из двух. Первый от начальной точки до новой срединной с приемлемой проходимостью. Второй от новой срединной точки до конца первоначального отрезка. Описанное изображено на рис. 2.



**Рис. 2** Поиск проходимой точки

Для каждого из двух полученных участков пути, алгоритм применяется рекурсивно до условия окончания рекурсии. Им может быть максимальный уровень рекурсии заданный числом или длина отрезка маршрута, меньше которой нет смысла производить расчеты. В результате можно получить маршрут, все точки которого проходимы. Предыдущая версия алгоритма, основанная на A\* в качестве входных данных использовала растровую карту. Эта карта преобразовывалась в дерево методом деления на фрагменты 2 на 2 метра, что составляло (в зависимости от масштаба) 10 — 20 пикселей. Новый алгоритм был так же реализован на языке python на растровой карте, однако разбиение на квадраты не требовалось. Приведем пример работы алгоритма на участке карты на рис. 3 с обозначением цветными линиями хода работы.



**Рис. 3 Прокладка маршрута**

На рисунке заданы начальная точка слева в середине и конечная между домами 18к1 и 18к10. Зеленым линиями отмечены проходимые дороги. Тонкие синие и фиолетовые линии промежуточные траектории. Толстые сине-голубые и красно-желтые — перпендикуляры поиска ближайшей проходимой точки.

Далее, в качестве входных данных использовались векторные карты проекта Open Street Map [3] в виде xml документа. Построенный маршрут записывается в xml документ с той же структурой для отображения в программе JOSM.

Математическая сторона работы заключается в разработке алгоритма, а со стороны информатики — реализация алгоритма и работа с картами Open Street Map.

Реализовать данный алгоритм было решено с использованием модуля логического программирования pyDatalog [4]. Рассмотрим его реализацию в листинге 1.

**Листинг 1 Реализация программы**

```

path.append(Line(0, 10))
path.append(Line(30, 40))
отрезок(A, B) <= (Line.start[X] == A) & (Line.end[X] == B)
отрезок(A, B) <= ((Line.start[X] == A) & (Line.end[X] == B) & (Line.start[X2] == A) &
(Line.end[X2] == C) & (C > B) & (отрезок(A, C)))

```

Определен класс Line, унаследованный от pyDatalog.Mixin, хранящий в себе параметры отрезка маршрута. При запросе «отрезок(A, B)», pyDatalog производит рекурсивный обход всех экземпляров Line и возвращает те, которые удовлетворяют условию ограничения рекурсии. Условием может быть проходимость отрезка маршрута или его длина.

Таким образом, планируется применить данный алгоритм, реализованный с помощью pydatalog на многофункциональном роботизированном комплексе. Расчеты, ожидаемо, должны выполняться быстрее, чем у алгоритма A \*. Дополнительно, робот будет предотвращать столкновения при неверно составленном маршруте. Так же возможно дополнение карты на основе собранных данных роботом и следовательно, более точное составление маршрута.

**Библиографический список**

1. Принципы организации работ с применением мобильного робота / Д.С. Курушин, Е.В. Долгова, Р.А. Файзрахманов // Научное обозрение. - 2014. - № 7, ч. 1. - С. 219-221., ВАК
2. A\* // Википедия URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/A\\*](https://ru.wikipedia.org/wiki/A*)
3. Open Street Map URL: <https://www.openstreetmap.org>
4. Logic programming in Python // pyDatalog URL: <https://sites.google.com/site/pydatalog/Online-datalog-tutorial>.

## LAYING THE ROUTE FOR THE ROBOTIC PLATFORM

*Leonov Evgeniy R., Kurushin Daniil S.*

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614990,  
leonovevgenii2015@yandex.ru

This article describes the implementation of laying the route algorithm intended for use as part of a multifunctional robotic system, which is developed in PNRPU at the Department of ITAS. The computational complexity of this implementation is compared with the previous version of the routing algorithm, which was based on A\*. Necessity of development of new algorithm is proved. The algorithm is implemented in python and uses the Open Street Map project as the source data. The advantage of this algorithm on the calculation speed is up to 10 times. Also, the article presents a method of implementing the algorithm using the logical programming module pyDatalog for python. The article presents a partial implementation of the recursive part of the algorithm.

Keywords: laying the route, algorithm, robot, pydatalog, logical programming.

## МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ TOGAF КАК ИНСТРУМЕНТА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСФОРМАЦИЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

*Менжаева Ольга Александровна*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, omenjaeva@mail.ru

*Кушев Вадим Олегович*

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, 614070, г. Пермь,  
ул. Студенческая, д. 38, vkushev@hse.ru

В статье описано применение стандарта The Organization Group Architecture Framework для анализа и реинжиниринга архитектуры организации. Приведены краткое обоснование выбора стандарта как основы для управления трансформацией организации и обзор этапов работ по проектированию архитектуры согласно The Organization Group Architecture Framework. Приведен пример использования стандарта как инструмента управления трансформацией ИТ-организации с целью вывода предприятия из кризисного состояния. Рассмотрены четыре основных домена архитектуры предприятия, которые выделены в стандарте, предложены способы моделирования каждого домена. Описаны некоторые результаты, полученные в ходе применения The Organization Group Architecture Framework для управления трансформацией организации. Предложена возможность применения стандарта для построения архитектуры исследовательских групп в естественных и гуманитарных науках.

Ключевые слова: архитектура предприятия, TOGAF, корпоративная информационная система, бизнес-процесс.

Каждая организация имеет жизненный цикл. После роста и стабильности всегда наступает спад, сопровождающийся снижением мотивации сотрудников, отсутствием инициативы на всех уровнях управления, потерей точек контакта с заказчиками, наступлением информационной изоляции – общим регрессом всех систем организации [1]. Рассмотрим в качестве примера организацию, в которой наблюдается значительное снижение объема оборота денежных средств и качества предоставляемых услуг. Руководство организацией предполагает, что кризисное состояние было вызвано как естественным образом (переходом организации на следующую стадию жизненного цикла), так и управленческими ошибками. В условиях кризиса было принято решение о необходимости анализа и реинжиниринга информационного пространства организации и бизнес-процессов. Однако, непосредственное построение исключительно моделей для анализа может стать недостаточным. Так как необходим тонкий и проверенный подход к проектированию архитектуры предприятия, который бы учел факторы внутренней и внешней среды, видение архитектуры менеджментом организации, бизнес-процессы и внедренные в организации программные продукты, за основу трансформации организации был взят стандарт The Organization Group Architecture Framework (TOGAF), далее по тексту – стандарт [2].

Необходимо отметить, что стандарт может использоваться для построения архитектуры исследовательских групп, например, имеющих сложную структуру технологической базы, конкретные целевые показатели деятельности и сроки выполнения работ.

TOGAF включает метод разработки архитектуры Architecture Development Method (ADM). Методология состоит из предварительной фазы, девяти основных фаз (А-Н) и общего процесса управления требованиями. Результатом предварительной фазы является адаптация TOGAF к конкретному проекту. Далее в рамках фазы А определяется видение архитектуры предприятия. Например, утвержденная руководством организации цель – реинжиниринг бизнес-процессов и создание единого информационного пространства; в преобразовании архитектуры организации заинтересованы её сотрудники, руководство, а также заказчики. В то же время формулируются общие требования к результатам проекта. Детальное описание требований проводится после фаз В – D. Эти фазы включают в себя анализ четырех доменов архитектуры предприятия [2].

В ходе работы над проектом рассматривается бизнес-архитектура предприятия, архитектура данных, архитектура приложений и технологическая архитектура в организации. Чтобы проанализировать бизнес-архитектуру, может быть проведен ряд интервью с руководством организации на предмет стратегии организации, изучены учредительные документы, устав. Для моделирования бизнес-процессов организации предлагается использовать нотацию Business Process Model and Notation (BPMN), так как она позволяет учесть различные управляющие структуры и модели, построенные на ее основе, интуитивно понятны. Так для организации, рассматриваемой в качестве примера, была построена диаграмма бизнес-процесса обработки заявки, которая демонстрирует нерациональное использование внедренных программных продуктов, не осуществляющих практически никакой автоматизации бизнес-процесса. Путем применения графического анализа было установлено, что единое информационное пространство отсутствует, характер горизонтальных и вертикальных коммуникаций внутри организации, процессов тестирования и релиза хаотичен.

С целью анализа существующей структуры данных была построена ER-диаграмма. Она может быть использована для построения модели структуры данных, которая является целевой при трансформации организации в соответствии с видением руководства. Использование нотации ERD позволяет выделить ключевые понятия и установить связи между ними, что важно для анализа и проектирования единого информационного пространства. Для построения модели существующей технологической архитектуры использована нотация языка UML (диаграмма развертывания). Диаграмма развертывания позволяет оценить технические возможности организации и изучить инфраструктуру.

После выделения проблем в структуре данных и бизнес-процессов формулируются требования к целевой архитектуре предприятия. Например, это может быть интеграция ключевых точек взаимодействия с заказчиком в информационное пространство организации, документирование контроля релизов и тестирования, автоматизация оперативного и долгосрочного планирования, анализ и отслеживание рисков, систематизация коммуникаций внутри организации, отслеживание качества выпускаемой продукции, автоматизация учета трудозатрат на выполнение задач, обеспечение гибкости бизнес-процессов. Описанные требования были предъявлены к трансформации организации, рассматриваемой в качестве примера, но могут быть применены к любой естественнонаучной или гуманитарной отрасли, например, при выполнении научно-исследовательских работ. [4]

Фаза Е предполагает сравнение целевой и существующей архитектуры предприятия. Для этого целесообразно использовать SWOT-анализ. Матрица, содержащая анализ внешних и внутренних возможностей и угроз, а также сильных внутренних и внешних факторов организации, которые должны позволить преодолеть угрозы, позволила определить первичное направление разработки архитектуры [3]. Результатом SWOT-анализа в ИТ-компании стало принятие решения о разработке корпоративной информационной системы с

гибкой настройкой работы, которая объединит и систематизирует существующее в организации информационное пространство, что позволит автоматизировать бизнес-процессы, как следствие – ускорить обработку заявок заказчика, повысить качество выпускаемых программных продуктов и улучшить имидж организации на рынке программных решений в области разработки информационных систем. К числу необходимых работ также относится проектирование и инициация недостающих бизнес-процессов. Далее следует фаза F. Планирование является важной частью работы, так как в это время составляется алгоритм перехода к целевой архитектуре, оцениваются сроки, трудозатраты, финансовые затраты, оформляется необходимая документация, например, разрабатывается техническое задание на создание корпоративной информационной системы. Далее следуют фазы реализации архитектурных решений для устранения разрыва между существующей и целевой архитектурой. Процесс должен тщательно контролироваться на каждом этапе. На этапе заключительного контроля необходимо провести сравнительный анализ целевой и достигнутой архитектуры [4].

Таким образом, стандарт может быть применен для трансформации организации, находящейся в кризисном состоянии, а также для построения архитектуры исследовательских групп в различных, в том числе естественнонаучных областях, имеющих сложную структуру технологической базы, конкретные целевые показатели деятельности и сроки выполнения работ.

#### **Библиографический список**

1. *Адизес И.* Управление жизненным циклом корпорации. СПб.: Питер, 2007.
2. The Open Group Architecture Framework (TOGAF) [Электронный ресурс] URL: <http://pubs.opengroup.org/architecture/togaf9-doc/arch/index.html> (дата обращения: 20.03.2018).
3. *Загородников А. Н.* Управление общественными связями в бизнесе. Учебник. М: КноРус, 2011.
4. *Кудрявцев Д.В., Арзуманян М.Ю.* Архитектура предприятия: переход от проектирования ИТ-инфраструктуры к трансформации бизнеса// Российский журнал менеджмента. 2017. Том 15, №2. С. 193 – 224.

#### **METHOD OF USING TOGAF AS A MANAGEMENT TOOL FOR THE ORGANIZATION TRANSFORMATION**

*Menzhaeva Olga A.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, omenjaeva@mail.ru

*Kushev Vadim O.*

National Research University The Higher School of Economics, st. Studencheskaya, 38, Perm, Russia, 614070, vkushev@hse.ru

In article application of the The Organization Group Architecture Framework standard for the organization architecture analysis and reengineering is described. Are given short justification of the standard as bases for the organization transformation management choice and the review of works stages on design of architecture according to The Organization Group Architecture Framework. The example of use of the standard as management tool for the IT organization transformation to overcome the crisis is given. Four main domains of the enterprise architecture which are allocated in the standard are considered, ways of each domain modeling are offered. Some results received during applying of The Organization Group Architecture Framework for the organization transformation management are described. The application possibility of the standard for creation of research groups in natural and the humanities architecture is suggested.

Keywords: enterprise architecture, TOGAF, corporate information system, business process.

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОННОГО ХРАНЕНИЯ ДОКУМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ АРХИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

*Ольбрехт Полина Сергеевна*

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, 614070, г. Пермь,  
ул. Студенческая, д. 38, [OlbrekhtPS@urlns.ru](mailto:OlbrekhtPS@urlns.ru)

*Кушев Вадим Олегович*

Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, 614112,  
г. Пермь, ул. Гремячий Лог, 1, [vkushev@hse.ru](mailto:vkushev@hse.ru)

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, [vkushev@hse.ru](mailto:vkushev@hse.ru)

Рассматривается процесс информатизации архивной деятельности в организации. Внедрение системы электронного архива является одним из способов автоматизации деятельности архивов. Статья представляет собой краткое изложение результатов научно-исследовательской работы, посвященной разработке методического подхода к решению задачи создания и функционирования информационной системы архива электронных документов. В ходе исследования был проведен сравнительный анализ систем электронного хранения документов, констатирующий эксперимент «фотография рабочего дня», проведено моделирование основных бизнес-процессов в области делопроизводства организации. Для выбора оптимального варианта был проведен экономический анализ стоимости реализации проектов внедрения систем электронного хранения. Приведенный методический подход может быть полезен при проектировании систем электронного хранения документов в различных естественнонаучных областях.

Ключевые слова: информатизация архивного дела, электронный архив, электронный документооборот, система электронного хранения.

В процессе жизнедеятельности любой организации наступает момент, когда объем накопленного массива документации становится настолько большим, что ориентироваться в нем становится проблематично. Кроме того, в современных организациях, в том числе научно-исследовательских, документация часто хранится в бумажном виде. В сложившейся ситуации, например, поисковая работа с документами, в том числе архивными, становится неэффективной ввиду высоких временных затрат. Для того чтобы поиск информации был релевантным запросу, необходима четкая структура организации информации, которую, как правило организует архив компании, специальные технические и программные средства. Современное развитие технологий, позволяет создать так называемый электронный архив организации, позволяющий отчасти решить указанные выше проблемные аспекты. Для этого нужно провести исследование документооборота организации и предложить методику перехода на электронное хранение документов.

Исследование проблемных вопросов электронного документооборота проводилось в Акционерном обществе «Уралнефтесервис», которое с 2015 года использует систему 1С для организации документооборота. Используемая система позволяет структурировать лишь



часть информации, т.к. не все данные возможно загрузить в систему. Кроме того, документы созданные до 2015 г. хранятся в бумажном варианте и в целях экономии пространства нуждаются в переводе в электронный формат. Все это говорит о том, что текущее состояние системы электронного документооборота в организации недостаточно для полной структуризации данных и необходимо создание системы электронного хранения.

Создание электронного архива организации позволит в первую очередь решить такой из многих проблемных вопросов, как длительный и не достоверный поиск документов. В ходе констатирующего эксперимента «фотография рабочего дня» был выявлен факт сокращения временных затрат на поиск документов при применении информационных технологий. В течение 10 рабочих дней фиксировались все временные затраты на какое-либо действие двух сотрудников архива. Далее полученные результаты были усреднены. Согласно усредненным значениям показателей, общее время на поиск документа по одному атрибутивному признаку составило 42 минуты, а при использовании информационных технологий 7 минут. Сравнение двух фотографий рабочего времени наглядно показывает, что поиск документов при использовании информационных технологий упрощается за счет исключения ряда «ручных» операций, и вследствие чего скорость поиска увеличивается в несколько раз.

На основе существующих нормативно-методических документов и специфики организации были выявлены необходимые функции для электронного архива: формирование архива, поиск документов, экспертиза ценности документов, формирование отчетности в архивным документам.

Сегодня на рынке информационных систем представлено большое количество разнообразных продуктов для электронного хранения документов. Наиболее востребованными являются такие программы, как Архивное дело, Эллар-архив и 1С:Архив. Эти программы имеют широкое применение в архивах государственных служб, спроектированы с учетом нормативно-правовой базы по архивному делу, имеют гибкую структуру. Для определения программы, которая отвечает всем необходимым требованиям организации, был проведен сравнительный анализ систем по методике анализа иерархий Т.Саати. Критериями данного анализа являлись необходимые функции и степень их реализации в системах. В результате проведенного анализа был сделан выбор в пользу 1С:Архив.

Однако реализации данных функций не является основополагающим критерием выбора системы электронного архива. Для выбора оптимального варианта был проведен экономический анализ стоимости реализации проектов внедрения представленных выше программ. В связи с тем, что в организации уже применяется система электронного документооборота «1С: Документооборот», то внедрение «1С:Архив» более выгодный проект, т.к. необходимо лишь конфигурировать программу.

Для конфигурации программы «1С» был проведен анализ деятельности предприятия и моделирование основных бизнес-процессов в области делопроизводства. Результатом анализа стали диаграммы процесса формирования архива организации AS-IS и TO-BE в нотации IDEF0. Данный процесс был декомпозирован на подпроцессы: формирование отчетности, поиск документа, экспертиза ценности документов. Диаграмма декомпозиции показывает, каким образом будет осуществляться автоматизация данного процесса. Если сравнить диаграмму AS-IS (Рис.1) с TO-BE (Рис.2), то можно отметить, что количество действий уменьшилось до трех. Если документ не имеет электронного варианта, необходимо его отсканировать и добавить в систему. Далее система уже автоматически формирует необходимую отчетность и электронное дело. В данном случае архив будет структурирован и в любой момент можно проанализировать состав документов архива, выгрузить всю необходимую документацию и осуществить ускоренный поиск документов.

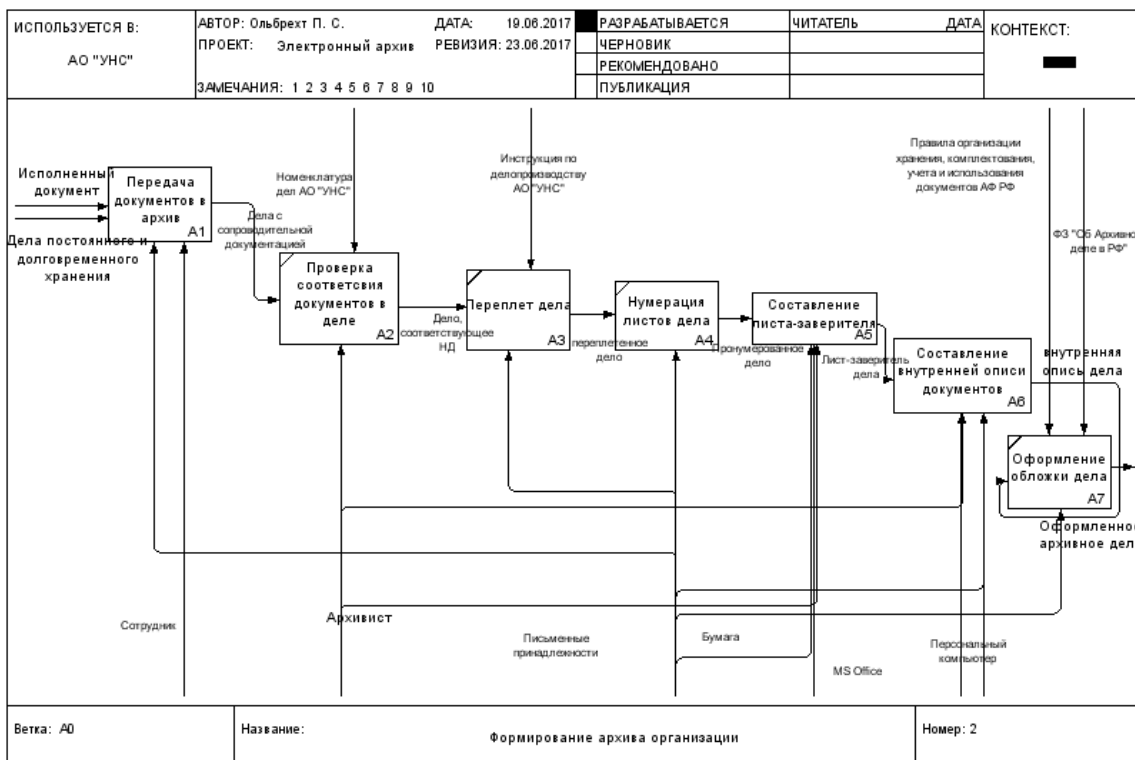


Рис. 1 Диаграмма AS-IS

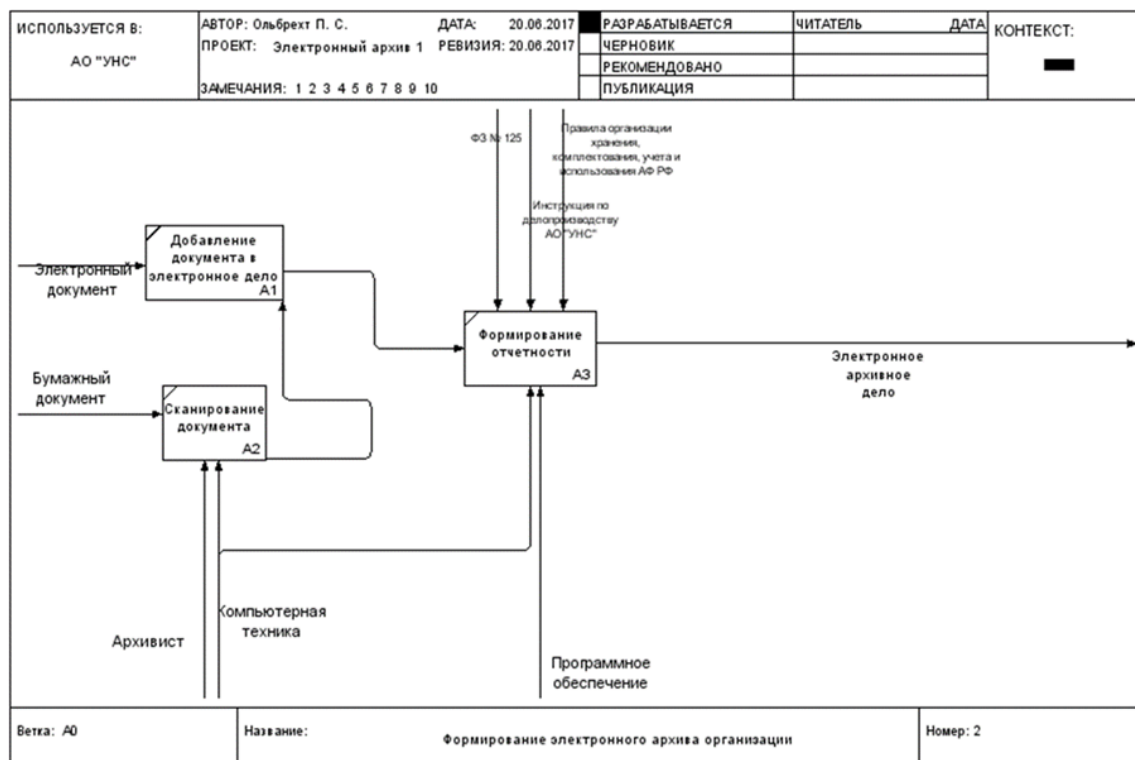


Рис. 2 Диаграмма TO-BE

Анализ построенных диаграмм показал, что автоматизация архивной деятельности позволит организации значительно снизить уровень нагрузки на архивиста и упростит поиск для рядовых сотрудников организации. Помимо этого повысится контроль за сохранностью документов. Все документы будут сохранены в систему. В связи с тем, что экспертиза ценности стала проще, а так же появилась возможность проверки ценности документов. Так же, те документы, у которых уже истек срок хранения, но их до сих пор не уничтожили из-за

сомнений в их ценности, теперь можно занести в систему электронные экземпляры и утилизировать документы на бумажном носителе..

Приведенный подход может быть вполне применим для проектирования систем электронного хранения документов в разных предметных областях, в том числе в естественнонаучных.

### **Библиографический список**

1. *Саати Т.* Принятие решений: Метод анализа иерархий / Пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. С. 93.
2. *Создание* электронного архива документов. DIRECTUM File Storage Services [Электронный ресурс]. URL: <http://www.directum.ru/1705648.aspx>. (дата обращения: 18.12.2017).
3. *Тихонов В. И.* Организация архивного хранения электронных документов: проблемы, практика, рекомендации [Электронный ресурс]. URL: [http://stor-m.ru/page.jsp?pk=node\\_100078](http://stor-m.ru/page.jsp?pk=node_100078) (дата обращения: 15.01.2018).

### **VERSION OF THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF ELECTRONIC STORAGE OF DOCUMENTS ON THE EXAMPLE OF ARCHIVAL ACTIVITY**

*Olbrekht Polina S.*

National Research University The Higher School of Economics, st. Studencheskaya, 38, Perm, Russia, 614070, [OlbrekhtPS@urlns.ru](mailto:OlbrekhtPS@urlns.ru)

*Kushev Vadim O.*

Perm Military Institute of the National Guard Troops Russian Federation, Gremyachy Log str., 1, Perm region, Perm, Russia, 614112, [vkushev@hse.ru](mailto:vkushev@hse.ru)

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, [vkushev@hse.ru](mailto:vkushev@hse.ru)

In article process of informatization of archival activity in the organization is considered. Introduction of system of electronic archive is one of ways of automation of activity of archives. Article represents a summary of results of the research work devoted to development of methodical approach to the solution of a problem of creation and functioning of an information system of archive of electronic documents. During the research the comparative analysis of systems of electronic storage of documents stating an experiment "the photo of the working day" has been carried out, the main business processes in the field of office-work of the organization are simulated. The given methodical approach can be useful at design of systems of electronic storage of documents in various natural-science areas.

Keywords: archiving informatization, electronic archive, electronic document flow, system of electronic storage.

## РАЗРАБОТКА ВИЗУАЛИЗАТОРА ГРАФОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ СЕМОГРАФ

*Пермяков Сергей Сергеевич*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, rewmad@gmail.com

В данной статье рассматриваются вопросы развития адаптивной системы научной визуализации SciVi и её встраиваемой версии, использующейся в ИС Семограф. Показана необходимость применения адаптивных систем научной визуализации для решения задач визуальной аналитики в ИС Семограф. Продемонстрирована необходимость в визуализации графов произвольной структуры для задач визуальной аналитики в рамках ИС Семограф. Выполнен анализ методов визуализации данных с использованием веб-технологий, осуществлён обзор наиболее популярных библиотек визуализации графов для веб. На основе этого обзора выбрано программное средство VivagraphJS, использованное затем в качестве основы для реализации собственного модуля визуализации графов произвольной структуры. Указаны основные преимущества и недостатки VivagraphJS, а также методы их устранения. Осуществлено проектирование разрабатываемого решения, призванное устранить указанные недостатки. Определено место разрабатываемого решения в рамках встраиваемой версии SciVi. Предложенное решение позволяет осуществлять визуальную аналитику данных, собранных в ходе гуманитарных исследований.

Ключевые слова: научная визуализация, информационная система, графовое представление данных, Web-приложение.

В процессе разработки информационных систем (ИС) часто возникает необходимость реализации в их составе средств визуализации и визуальной аналитики. Причём, чем сложнее организация данных внутри создаваемых систем, тем выше потребности в визуализации, но и тем сложнее создать соответствующий графический инструментарий. Для максимально полного покрытия задач отображения данных зачастую не хватает функциональности готовых библиотек рендеринга и требуется либо серьёзно модифицировать их, либо разрабатывать собственные программные средства с нуля. В обоих случаях трудоёмкость требуемых доработок оказывается достаточно высокой, особенно если структуры данных, подлежащих наглядному изображению, нетривиальны.

В ходе предыдущих исследований [1] предложен подход по встраиванию адаптивных систем научной визуализации в сторонние ИС, а также представлена концепция встраивания системы научной визуализации SciVi [2] в ИС Семограф [3] – систему, предназначенную для решения широкого спектра научных, образовательных и прикладных задач, связанных с обработкой и анализом языковых и текстовых данных. Типовыми задачами, решаемыми с помощью инструментария системы, являются: создание классификаторов и тезаурусов предметных областей, проведение психолингвистических, социолингвистических и пр. экспериментов (а также анализ полученных данных), создание и разметка выборок и корпусов текстов, построение информационных моделей предметных областей, и другие задачи из области гуманитарных исследований [4, 5]. Система адаптивной научной визуализации SciVi построена на принципах онтологического инжиниринга, благодаря чему

она может быть быстро настроена на решение задач визуализации из любой предметной области и на взаимодействие с широким спектром различных источников данных.

В ходе предыдущих исследований предложена и реализована визуальная модель отображения данных при помощи кругового графа [1]. Однако данная модель не покрывает всех потребностей в визуальной аналитике, возникающих при использовании ИС Семограф. В частности, отображение при помощи кругового графа не поддерживает данные с различными типами вершин. Примером таких данных является граф «события-концепты», представляющий семантическую связь сущностей двух разных типов: событий и слов.

Целью данной работы является разработка встраиваемого средства визуализации графов произвольной структуры в составе SciVi и последующая интеграция этого средства в ИС Семограф. Это позволит пополнить процесс решения исследовательских задач средствами наглядной визуализации.

С целью ускорения реализации визуализатора было принято решение использовать сторонний визуализатор графов в качестве основы, строя решение поверх него. Помимо ускорения процесса разработки, данный подход позволит использовать сразу несколько визуализаторов, каждый в зависимости от конкретной решаемой задачи, причём такое использование будет прозрачно для системы научной визуализации и пользователя.

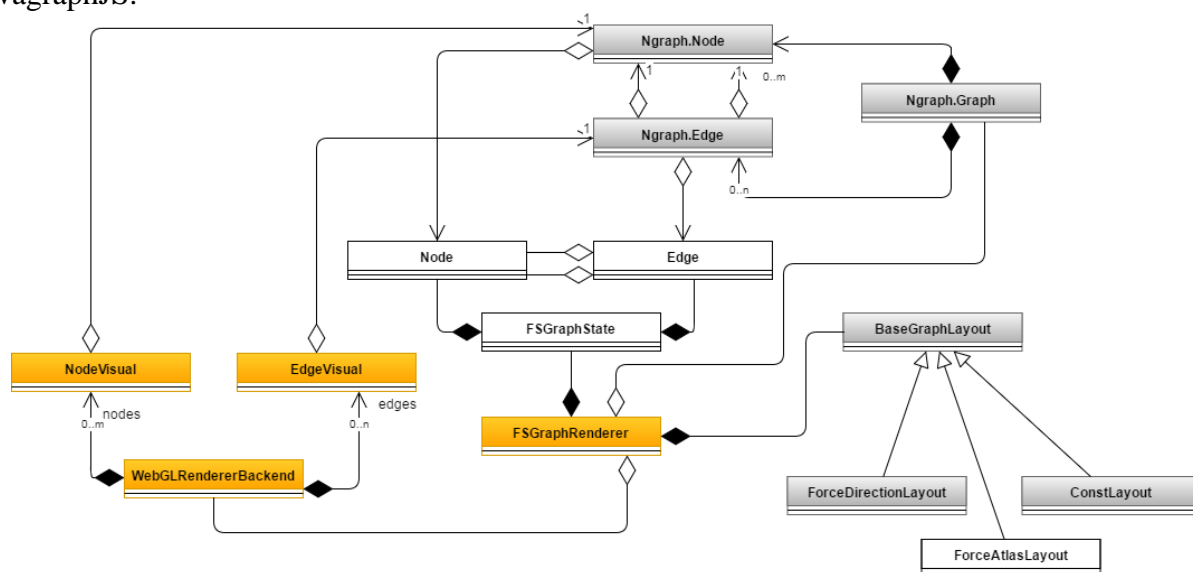
При разработке концепции интеграции SciVi в сторонние ИС было предложено реализовать интегрируемый тонкий клиент как веб-приложение, целиком выполняющееся на стороне клиента. Выполнен обзор существующих методов визуализации данных с использованием веб-технологий: SVG, HTML5 Canvas и WebGL. Среди указанных методов наиболее предпочтительным является визуализация с использованием WebGL, поскольку этот метод отличается большей производительностью по сравнению с SVG [6], а также является более гибким чем Canvas, что проявляется, например, в поддержке шейдеров. С учётом указанного выбора проведен сравнительный анализ существующих библиотек визуализации графов, результат которого приведён в таблице 1. Наиболее предпочтительным среди указанных решений является VivagraphJS [7].

**Таблица 1. Результаты сравнительного анализа**

Название	Качественная документация	Лёгкая расширяемость	Поддержка Canvas	Поддержка WebGL	Пермиссивная лицензия
Vis.js	+	+	+	-	+
D3.js	+	+	-	-	+
Alchemy.js	+	+	-	-	-
Cytoscape.js	+	+	+	-	+
VivagraphJS	-	+	-	+	+
GraphDracula	-	+	-	-	+
Sigma.js	+	+	+	+	+

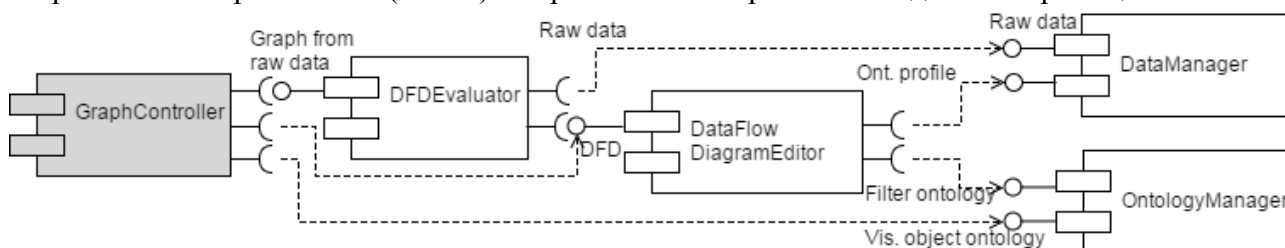
Главным преимуществом VivagraphJS по сравнению с другими решениями является модульность: все алгоритмы работы с графовыми структурами отделены от алгоритмов визуализации в отдельный модуль – Ngraph. Благодаря этому возможна как замена отдельных алгоритмов в VivagraphJS, так и замена подсистемы визуализации целиком (например, на PixiJS [8], что позволит переиспользовать части кода модуля визуализации круговых графов). Однако публичный API VivagraphJS является нестабильным. В связи с этим было принято решение существенно переработать его, оставив нетронутыми алгоритмы работы с графовыми данными. В результате появится возможность адаптировать к Ngraph альтернативные алгоритмы укладки графа, а также упростить поддержку нескольких модулей визуализации. Диаграмма классов разрабатываемого решения представлена на рис. 1. Здесь FSGraphRenderer – базовый класс решения, объединяющий в себе

представление графа, способы его укладки и алгоритмы визуализации. Серым цветом отмечены классы из Ngraph, взятые без изменений, жёлтым – модифицированные классы из VivagraphJS.



**Рис. 1** Диаграмма классов разрабатываемого решения

Одно из требований, не отражённое на диаграмме классов – требование к интеграции разрабатываемого решения с существующими модулями системы SciVi. Для демонстрации подобной интеграции покажем место разрабатываемого решения среди компонентов встраиваемой версии SciVi (Рис. 2). Разрабатываемое решение выделено серым цветом.



**Рис. 2** Диаграмма компонентов встраиваемой версии SciVi

GraphController получает на вход онтологию визуальных объектов от менеджера онтологий (OntologyManager), диаграмму потока данных от редактора диаграмм потоков данных (DFDEditor) и отфильтрованный граф во внутреннем формате от исполнителя диаграммы потока данных (DFDEvaluator).

Таким образом, в результате работы была показана необходимость в визуализации графов произвольной структуры в рамках ИС Семограф, осуществлён сравнительный анализ средств визуализации графов с использованием веб-технологий, выполнено проектирование модуля визуализации графов произвольной структуры для встраиваемой версии системы научной визуализации SciVi. В дальнейшем планируется реализовать спроектированное решение, встроить его в ИС Семограф, а также пополнять его по мере необходимости новыми возможностями, например, дополнительными алгоритмами укладки.

### Библиографический список

1. Рябинин К.В., Баранов Д.А., Белоусов К.И. Интеграция информационной системы Семограф и визуализатора SciVi для решения задач экспертного анализа языкового контента. Научная визуализация. Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2017. К. 4, Т. 9, №4. С. 67–77.
2. Рябинин К.В., Чуприна С.И., Бортников А.Ю. Автоматизация настройки систем научной визуализации на специфику разнообразных источников данных. Научная

- визуализация. Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2016. К. 4, Т. 8, №4. С. 1–14.
3. Баранов Д.А., Белоусов К.И., Влацкая И.В., Зелянская Н.Л. Система графосемантического моделирования [программа для ЭВМ] Свидетельство о государственной регистрации в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ № 20111617192 от 15.09.2011.
  4. Belousov K.I., Baranov D.A., Zelyanskaya N.L., Karlina T.V. The Use of Economic Classifiers for the Indexing of Scientific Publications. *Scientific and Technical Information Processing*, 2015. Vol. 42, No. 4. P. 299–305.
  5. Belousov K., Erofeeva E., Leshchenko Y., Baranov D. “Semograph” Information System as a Framework for Network-Based Science and Education. *Smart Innovation, Systems and Technologies. Smart Education and e-Learning*, 2017. P. 263–272.
  6. Performance of canvas versus SVG | Boris Smus [Электронный ресурс]. URL: <http://smus.com/canvas-vs-svg-performance/> (Дата обращения: 20.03.2018).
  7. GitHub - anvaka/VivaGraphJS: Graph drawing library for JavaScript [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/anvaka/VivaGraphJS> (Дата обращения: 20.03.2018).
  8. Графический движок PixiJS [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pixijs.com/> (Дата обращения: 20.03.2018).

## **DEVELOPMENT OF THE VISUALIZER OF THE GRAPHS OF THE ARBITRARY STRUCTURE FOR THE INFORMATION SYSTEM SEMOGRAPH**

*Permyakov Sergei S.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, rewmad@gmail.com

In this article discusses the development of the adaptive system of scientific visualization SciVi and its embedded version, used in the IC Semograph. The necessity of application of adaptive systems of scientific visualization for solving the problems of visual analytics in the IC of the Semograph is shown. Demonstrated the need to visualize graphs of an arbitrary structure for visual analytics problems within the framework of the IC Semograph. The analysis of data visualization methods using web technologies is carried out, the review of the most popular visualization libraries of graphs for the web is carried out. Based on this review, the software tool VivagraphJS was chosen, which was then used as the basis for implementing its own visualization module for graphs of arbitrary structure. The main advantages and disadvantages of VivagraphJS are indicated, as well as methods for their elimination. The design of the solution being developed is designed to eliminate these disadvantages. The location of the solution being developed within the framework of the embedded SciVi version is determined. The proposed solution allows for the visual analysis of data collected in the course of humanitarian research.

Keywords: scientific visualization, information system, graph presentation of data, Web-application.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНОСТИ ПЕРЕСТАНОВОЧНЫХ КРИТЕРИЕВ ПРИ ПРОВЕРКЕ ОДНОРОДНОСТИ ДВУХ ВЫБОРОК

*Петухов Антон Юрьевич, Чичагов Владимир Витальевич*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, asd1u@yandex.ru

Исследуются перестановочные критерии в задаче проверки статистической гипотезы об однородности двух выборок. Сравниваются перестановочные критерии, основанные на внутригрупповых и межгрупповых расстояниях. Установлено, что при равных объемах выборок оба семейства перестановочных критериев являются эквивалентными с точки зрения функции мощности. Рассмотрены два подхода к формированию набора перестановок. Один из них основывается на объединении исходных выборок и последующих случайных перестановках объединенной выборки. Реализация второго подхода сводится к случайным перестановкам элементов исходных выборок так, чтобы в каждой из выборок оказалось фиксированное количество элементов каждой из исходных выборок. При помощи метода компьютерного статистического моделирования исследовано поведение мощности перестановочных статистических критериев в зависимости от значения параметра сдвига нормального распределения, а также от способа формирования набора перестановок.

Ключевые слова: перестановочные критерии, мощность, гипотеза однородности двух выборок.

Перестановочные критерии – класс непараметрических тестов, основывающихся на перестановках исходных данных [1 – 3]. Перестановочные тесты обладают рядом преимуществ по сравнению с другими статистическими критериями: они могут быть использованы для анализа небольших наборов данных, не требуют предположений о виде распределения исследуемых случайных показателей, позволяют осуществлять расчет реального уровня значимости статистического критерия вне зависимости от объема выборки, допускают применение к анализу неслучайных выборок [1]. Эти достоинства делают перестановочные статистические методы идеальными и незаменимыми при проведении исследований в таких областях науки и техники, где приходится иметь дело с небольшими по объему выборками, как например: биология, экология, медицина и психология. К тому же результаты вычислительных экспериментов [4] показали, что мощность перестановочных тестов незначительно уступает мощности параметрических критериев даже в том случае, когда исходные данные допускают описание с помощью параметрических моделей.

Имеются две повторные выборки  $Y_1 = (Y_{1,1}, \dots, Y_{1,n})$ ,  $Y_2 = (Y_{2,1}, \dots, Y_{2,m})$  объемов  $n$  и  $m$ . Законы распределения элементов первой и второй выборок определяются соответственно функциями распределения  $F$  и  $G$ . Рассматривается задача проверки гипотезы однородности двух выборок по результатам их наблюдений  $y_1 = (y_{1,1}, \dots, y_{1,n})$ ,  $y_2 = (y_{2,1}, \dots, y_{2,m})$ .

Существуют два подхода к построению статистики для перестановочного критерия. Один из них основывается на использовании межгрупповых расстояний, а другой подход – на использовании внутригрупповых расстояний.

В рамках первого подхода рассмотрим тест, основанный на статистике



$$K = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m |Y_{1,i} - Y_{2,j}|^p \quad (1)$$

Этот тест зарекомендовал себя наилучшим образом по сравнению с другими перестановочными тестами, представленными в статье [4].

Приведем алгоритм расчета реального уровня значимости этого критерия.

1. Вычисляется значение статистики критерия  $K_0$  путем подстановки в (1) исходных результатов наблюдений  $y_1$  и  $y_2$ .

2. Осуществляется  $L$  различных перестановок исходных результатов наблюдений. Обозначим  $\pi_l$  -  $l$ -я перестановка из  $L$  возможных перестановок;  $y_{1,i}(\pi_l), i=1, \dots, n$  и  $y_{2,i}(\pi_l), i=1, \dots, m$  - соответственно элементы первой и второй серий наблюдений, полученные в результате перестановки  $\pi_l$  элементов исходных результатов наблюдений;  $K_l$  - значение статистики критерия, соответствующее  $l$ -й перестановке.

3. Определяем реальный уровень значимости перестановочного критерия по формуле

$$\alpha^* = \frac{\#(K_i > K_0, i=1, \dots, L)}{L}.$$

**Перестановочный критерий 1.** Гипотеза однородности двух выборок принимается, если реальный уровень значимости  $\alpha^*$  критерия, основанного на статистике (1), окажется не меньше заданного уровня значимости  $\alpha$ .

В [1] в рамках второго подхода предлагаются многооткликовые перестановочные тесты MRPP (multi-response permutation procedure), изначально разработанные для статистического определения возможных различий между одномерными или многомерными наблюдениями среди нескольких групп объектов.

В нашем случае рассматриваются две группы одномерных наблюдений. Тестовая статистика MRPP в этом случае представляет собой взвешенное среднее, заданное формулой

$$\delta = W_1 \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i |Y_{1,i} - Y_{1,j}|^p}{C_n^2} + W_2 \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i |Y_{2,i} - Y_{2,j}|^p}{C_m^2} \quad (2)$$

где  $W_1 > 0$ ,  $W_2 > 0$  - веса выборок,  $W_1 + W_2 = 1$ .

Выбор весовых коэффициентов  $W_1, W_2$  и показателя степени  $p$  определяют структуру MRPP. В [1] предлагаются следующие варианты весовых коэффициентов для первой группы:

$$W_1 = \frac{n}{n+m}, W_1 = \frac{1}{2}, W_1 = \frac{n-1}{n+m-2}, W_1 = \frac{n(n-1)}{n(n-1)+m(n-1)}.$$

Расчет реального уровня значимости такого критерия осуществляется примерно также, как и в случае критерия 1.

1. Сначала вычисляется значение статистики критерия  $\delta_0$  путем подстановки в (1) исходных результатов наблюдений  $y_1$  и  $y_2$ .

2. Затем вычисляется  $L$  значений  $\delta_l$  - статистика критерия, посчитанная на  $l$ -ой перестановке.

3. Определяем реальный уровень значимости перестановочного критерия по формуле:

$$\alpha^* = 1 - \frac{\#(\delta_i > \delta_0, i=1, \dots, L)}{L}$$

**Перестановочный критерий 2.** Гипотеза однородности двух выборок принимается, если реальный уровень значимости  $\alpha^*$  критерия окажется не меньше заданного уровня значимости  $\alpha$ .

**Утверждение.** При  $n = m$ ,  $W_1 = 0.5$  перестановочные критерии 1 и 2 имеют равные по величине функции мощности.

Справедливость утверждения при сделанных предположениях следует из равенства

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |Y_{1,i} - Y_{2,j}|^p + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i |Y_{1,i} - Y_{1,j}|^p + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i |Y_{2,i} - Y_{2,j}|^p = const$$

При расчете перестановочных критериев используются два способа формирования перестановок элементов выборок. Способ 1 основывается на объединении исходных выборок и последующей случайной перестановке объединенной выборки [1, 2]. Реализация способа 2 сводится к случайным перестановкам одинакового числа элементов исходных выборок [4].

Мощность перестановочного критерия 2 с использованием способов 1 и 2 сравнивалась при помощи метода статистического моделирования. Вычислительный эксперимент заключался в следующем: 1000 раз моделировались две случайных выборки, элементы которых имели нормальное распределение  $N(0,1)$  (распределение, соответствующее нулевой гипотезе) и  $N(\mu,1)$  (альтернативное распределение) соответственно, при значениях параметров  $\mu \in \{0; 0,25; 0,5; 0,75; 1\}$ ,  $n = m = 30$ ,  $\alpha = 0,05$ . Статистика критерия вычислялись при  $p = 1$ ,  $W_1 = 0.5$  и  $L = 1600$  перестановок. Мощность критерия определялась как доля имитаций, в которых гипотеза однородности отклонялась.

Результаты вычислений функции мощности приведены в следующей таблице 1.

**Таблица 1. Результаты вычислений.**

<i>Альтернативное распределение</i>	Способ 1	Способ 2
$N(0;1)$	0,05	0,06
$N(0,25;1)$	0,15	0,16
$N(0,5;1)$	0,45	0,47
$N(0,75;1)$	0,78	0,80
$N(1;1)$	0,96	0,96

Как можно судить по результатам вычислений, второй способ дал несколько лучшие значения функции мощности по сравнению с первым способом.

### **Библиографический список**

1. *Berry K.J., Mielke P.W., Johnson J.E.* Permutation Statistical Methods // New York: Springer International Publishing, 2016. 622 p.
2. *Good P. I.* Permutation, Parametric, and Bootstrap Tests of Hypotheses // New York: Springer-Verlag, 2005. 316 p.
3. *Pesarin F., Salmaso L.* Permutation Tests for Complex Data: Theory, Applications and Software // John Wiley and Sons, Ltd., 2010. 448 p.
4. *Мелас В.Б., Сальников Д.И., Гудулина А.О.* Численное сравнение перестановочных и классических методов проверки статистических гипотез // СПб.: Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 1. Математика. Механика. Астрономия. 2016. Т.3(61). Вып. 3. С. 415–423.

# COMPUTER RESEARCH OF POWER OF PERMUTATION TESTS IN CHECKING THE HOMOGENEITY OF TWO SAMPLES

*Petukhov Anton Y., Chichagov Vladimir V.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, asd1u@yandex.ru

Research of the permutation test of the statistical hypothesis on the homogeneity of two samples. The permutation tests based on intragroup and intergroup distances are compared. It is established that for equal sample sizes, both families of permutation tests are equivalent in terms of the power function. Two approaches to the formation of a set of permutations are considered. One of them is based on a combination of source samples and subsequent random permutations of the combined sample. The implementation of the second approach is reduced to random permutations of the elements of the original samples so that in each sample there is a fixed number of elements of each of the original samples. Using the method of computer statistical modeling, the behavior of the power of permutational statistical criteria is studied depending on the value of the normal distribution shift parameter, and also on the method of forming the permutation set.

Keywords: permutation test, randomization test, power, hypothesis of homogeneity of two samples.

**МЕХАНИЗМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СПРАВОЧНОЙ,  
СЛУЖЕБНОЙ И МЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ В  
«1С:МЕДИЦИНА.БОЛЬНИЦА»**

*Погорелова Евгения Евгеньевна, Комлева Евгения Владимировна*

Тюменский государственный университет, 625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 6,  
evgeshaxabarova@email.ru

*Григорьева Инна Ивановна*

Тюменский государственный университет, 625003, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 6,  
i.i.grigoreva@utmn.ru

В статье рассматривается механизм «централизации», разработанный и запущенный ресурсным центром «1С-Медицина-Регион» в городе Тюмень. Отсутствие данного механизма приводит к неконтролируемому росту и дублированию данных, что отрицательно влияет на процесс обмена данными между медицинскими информационными системами. «Централизация» предусматривает автономное обеспечение отказоустойчивости, за счет чего достигается усиливающий эффект взаимодействия с потребителем. Данный механизм включает в себя обмен сообщениями, определенного класса, между «1С:Центром» и «1С:Перифериями» посредством сервисной шины. Обмен такого рода имеет наиболее сбалансированный характер, даже при небольшом количестве систем и несложных интеграционных ландшафтах. Высокая скорость обмена и слабая связанность приложений делают механизм подходящим для интеграции большого количества приложений. Таким образом, в распределенной среде проще осуществляется расширение существующей системы. Добавление в сеть нового узла не оказывает влияния на функционирование уже существующих. Перегрузки из-за увеличения размера базы данных обычно устраняются путем добавления в сеть новых вычислительных мощностей и устройств внешней памяти.

Ключевые слова: обмен данными, «централизация», периферия, очередь входящих, очередь исходящих, SAP, 1С.

На базе компании «ТюмБит», в городе Тюмень, создан ресурсный центр «1С-Медицина-Регион», который занимается разработкой, внедрением в областные поликлиники и сопровождением системы управления медицинскими организациями «1С:Медицина.Больница». Одной из задач ресурсного центра является оптимизация процесса обмена данными между медицинскими ИС.

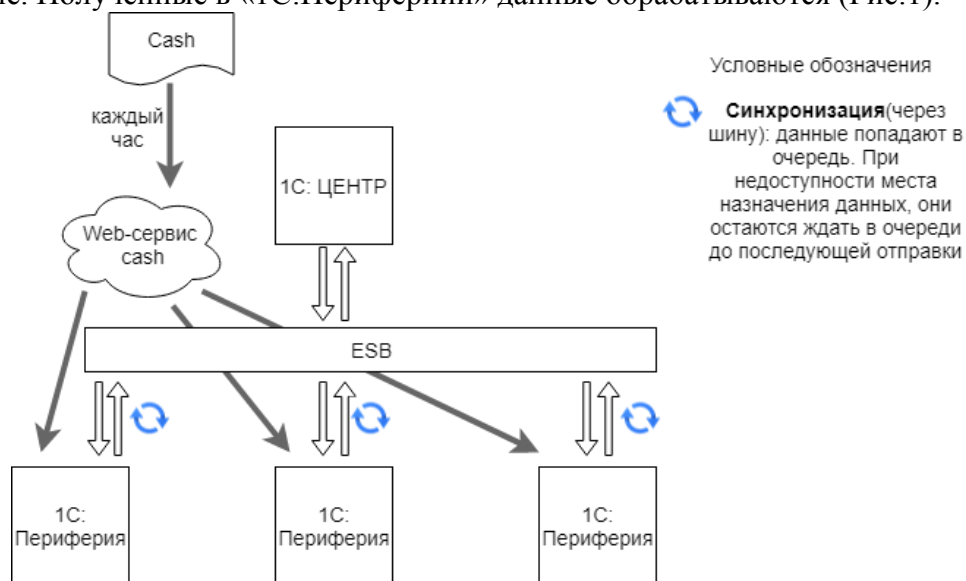
Проанализировав процесс обмена данными в предшествующей системе управления медицинскими организациям SAP, было выявлено, что внесение отдельных типов данных в SAP осуществляется без контроля, аутентификации и мониторинга, что приводит к дублированию и неконтролируемому росту данных. SAP имеет одну централизованную точку входа во все процессы, это вызывает отказоустойчивость системы.

Для решения данных проблем, ресурсным центром «1С-Медицина-Регион» был разработан и запущен механизм «централизации». Он предполагает распределение сред, в которых осуществляется автономное обеспечение отказоустойчивости элементов, то есть

выход из строя одного из участников схемы никак не влияет на работу остальных. Это создает минусы с точки зрения эксплуатации, но достигается огромный эффект синергии для потребителя.

Механизм «централизации» предполагает содержание такого компонента, как «1С:Центр» (MDM-Master data management). Цели этого компонента заключаются в обеспечении процесса формирования сбора данных из внешних источников, повышения их качества за счет очистки и обогащения, поиска и объединения дубликатов. «1С:Центр» осуществляет тесную связь с компонентом «1С:Периферия». «1С:Периферии» - это подписчики, то есть базы «1С:Медицина.Больница» разных медицинских учреждений. Они общаются между собой через комплекс синхронных и потоковых сервисов. Доставку и очереди пакетов контролирует Datareon ESB, своего рода пограничник. Для этого созданы Web-сервисы, которые обеспечивают обмен между ИС и Datareon. У каждого Web-сервиса есть две точки подключения: входящая и исходящая. Через входящую точку подключения Web-сервис отправляет данные, полученные от внешней системы, в Datareon. Через исходящую точку подключения Web-сервис получает данные из Datareon и передает во внешнюю систему [1].

Процесс механизма «централизации» заключается в том, что из «1С:Периферии» в «1С:Центр» отправляется сообщение определенного класса, данное сообщение фиксируется в исходящих. В «1С:Центре» полученное сообщение попадает во входящие. Данные переданные в «1С:Центр» обрабатываются и встают в очередь исходящих сообщений на отправку по «1С:Перифериям». В «1С:Перифериях» сообщения, соответственно, попадают во входящие. Полученные в «1С:Периферии» данные обрабатываются (Рис.1).



**Рис. 1** Схема механизма «централизации»

Опишем процесс «централизации» на примере обмена персональных данных пациентов (ФИО, дата рождения, СНИЛС, страховой полис, адрес, телефон, ДУЛ, участки, инвалидность).

В одной из баз «1С:Периферий» возникла необходимость добавить нового пациента. После ввода ФИО и даты рождения происходит идентификация пациента - отправляется запрос в сервисы ТФОМС и ПФР. В случае, если сервисы доступны, то приходит ответ о статусе идентификации, иначе данные пациента добавляются в очередь для повторной проверки. Если статус пациента - идентифицирован, пользователь дополняет о нем информацию: ДУЛ, льготы, контакты, адрес. После сохранения данные отправляются (очередь исходящих) в «1С:Центр» (очередь входящих). Далее происходит синхронизация через шину ESB. Данные попадают в очередь, в случае недоступности места назначения данных, они остаются ждать в очереди до последующей отправки. После анализа данных

либо создается новый пациент, либо обновляется информация о нем. Затем из «1С:Центра» отправляется код РМИС в «1С:Периферии». Происходит синхронизация аналогично описанию выше. У пациента в базе («1С:Периферии»), из которой была произведена отправка данных, проставляется код РМИС. В других «1С:Перифериях», аналогично как и в «1С:Центре», либо создается новый пациент, либо данные пациента обновляются.

В случае, если у пациента будут изменены данные полиса, СНИЛС, адреса или др. информация, то, аналогично процессу создания пациента, происходит обновление данных. Через «1С:Центр» данные расходятся по «1С:Перифериям» (Рис.2).

Механизм «централизации» также может использовать cash-таблицу данных, которую рассылают по всем «1С:Перифериям», примерно раз в час. Например, при выписке ЛВН (листа временной нетрудоспособности) происходит обращение в эту таблицу. Запрашивается наличие открытых ЛВН в других учреждениях. Если есть данные в cash за последний час, то в нем осуществляется поиск идентификатора (сшп) направившей организации. «1С:Периферия» смотрит соответствие ЛВН по SOAP сервису, закрывает открытый лист и создает продление у себя.

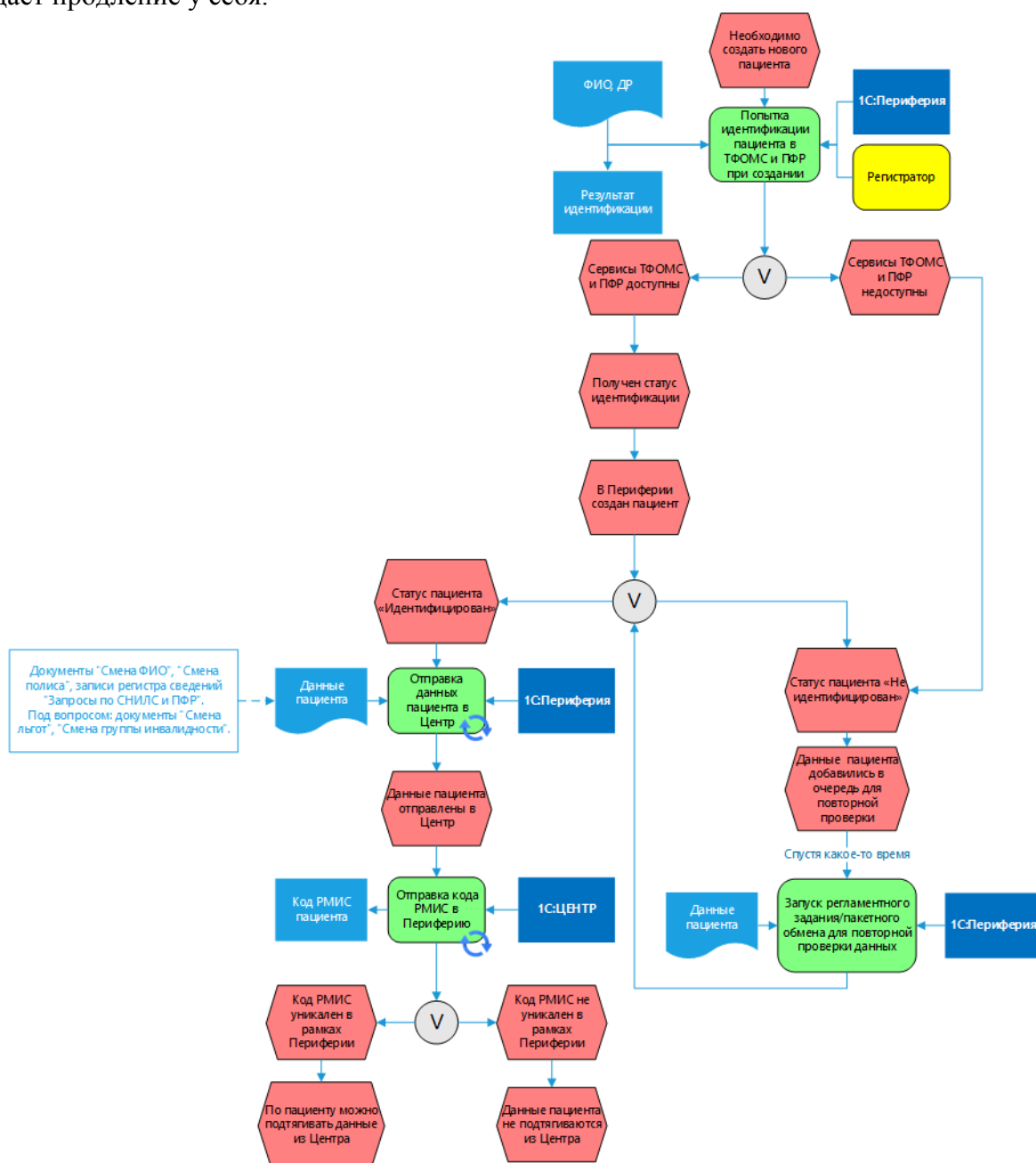
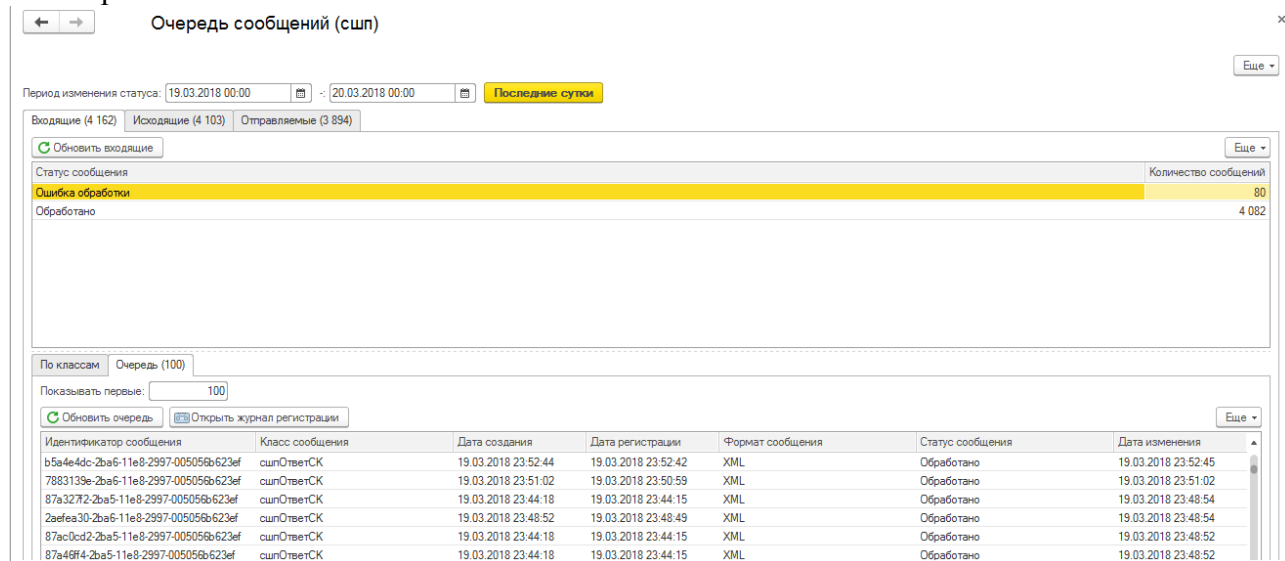


Рис.2 Процесс добавления нового пациента

Результат обмена можно проследить с помощью обработки, которая отображает, сколько исходящих и входящих сообщений, сколько в очереди, сколько обработано за указанный период (Рис.3). Она демонстрирует продуктивность работы системы и позволяет принимать решения по предотвращению загруженности очередей сообщений с помощью web-сервиса.



**Рис.3 Обработка «Очередь сообщений»**

Одним из преимуществ механизма «централизации» на базе 1С является использование свободного программного обеспечения (СПО) CentOS + PostgreSQL [2]. CentOS обеспечивает высокий уровень безопасности системы, высокую производительность, стабильность работы. Созданный с использованием объектно-реляционной модели, PostgreSQL поддерживает сложные структуры и широкий спектр встроенных и определяемых пользователем типов данных. Он обеспечивает расширенную емкость данных и заслужил доверие бережным отношением к целостности данных.

Таким образом, запущенный механизм «централизации» является наиболее подходящим для организации обмена данными между медицинскими ИС. Он также заслуживает внимание любого разработчика, участвующего в создании интеграционных схем. Для ресурсного центра «1С-Медицина-Регион» итогом запуска механизма «централизации» является предотвращение дублирования и неконтролируемого роста данных, устранение коллизий, а также решение проблемы отказоустойчивости системы.

### Библиографический список

1. ООО «АС», 2003. Компания DATAREON. Программный продукт «Datareon ESB». Концепция. Москва: 2017.
2. ООО «АС», 2015 Компания AXELOT. Программный продукт AXELOT Datareon ESB. Руководство администратора. Москва: 2016.
3. ООО «АС», 2003 Компания DATAREON. Программный продукт Datareon ESB. Руководство пользователя. Москва: 2017.
4. MDM помогает управлять информацией [Электронный ресурс] URL: <http://www.jetinfo.ru/stati/masterskoe-upravlenie-dannymi> (дата обращения 21.03.2018).
5. Преимущества и недостатки использования CentOS для выделенного сервера, особенности CentOS на базе red hat enterprise linux [Электронный ресурс] URL: <https://www.realhosters.com/ru/vps-os-centos.php> (дата обращения 21.03.2018).

## **MECHANISM OF CENTRALIZED MANAGEMENT OF REFERENCE, SERVICE AND MEDICAL INFORMATION IN «1C: MEDICINE.COLLINARY»**

*Pogorelova Evgenia E., Komleva Evgenia V.*

University of Tyumen, 6, Volodarsky st., 625003, Russia, evgeshaxabarova@email.ru

*Grigoryeva Inna I.*

University of Tyumen, 6, Volodarsky st., Tyumen, Russia, 625003, i.i.grigoreva@utmn.ru

The article deals with the mechanism of «centralization», developed and launched by the resource center «1C-Medicine-Region» in the city of Tyumen. The absence of this mechanism leads to uncontrolled growth and duplication of data, which negatively affects the process of data exchange between medical information systems. «Centralization» of providing autonomous provision of fault tolerance, due to which the following amplifying effect of interaction with the consumer. This mechanism includes the exchange of messages of a certain class between «1C:Center» and «1C:Peripherals» via the service bus. Exchange of this kind is most balanced, even with a small number of systems and simple integration landscapes. High speed of exchange and poor connectivity of applications to perform a large number of applications. Thus, in an distributed environment, the existing system is easier to expand. Adding a new unit to the network does not affect the functioning of the set. Overloads due to the increase in the size of databases are usually eliminated by adding new computing powers and external memory devices to the network.

Keywords: data exchange, «centralization», peripherals, incoming queue, outbound queue, SAP, 1C



## **КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МУЛЬТИМЕДИЙНЫМ СОПРОВОЖДЕНИЕМ ПРОЦЕССА СБОРКИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

*Реутов Василий Владимирович, Чуприна Светлана Игоревна*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, ya.vreutov@yandex.ru

В данной статье предложен подход к организации мультимедийного сопровождения процесса сборки сложных технических изделий, который управляется с помощью онтологических ресурсов. Для создания управляющей онтологии используется OntoGen – разработанная нами система автоматической генерации онтологий из текстовых ресурсов. Описана концепция автоматизированного обогащения онтологии данными и ресурсами визуализации, которые используются управляющим механизмом для создания визуального сопровождения процесса сборки, а также концепция репозитория для хранения ресурсов визуализации. В функции репозитория, помимо хранения, входят контроль внутренней целостности ресурсов и поддержка переиспользования ресурсов на принципах грануляции. В качестве примера в статье рассмотрено сопровождение процесса замены лампы поворота с помощью анимации, генерируемой из набора кадров.

Ключевые слова: автоматическая обработка текстов, автоматизация построения онтологий, интеллектуальный мультимедийный помощник, сборка технических изделий.

Статья посвящена описанию концепции автоматизированного построения онтологий для реализации управляемых онтологиями (ontology-driven) персональных мультимедийных помощников – мобильных приложений, сопровождающих процесс сборки сложных технических изделий и функционирующих на принципах дополненной реальности (AR – Augmented Reality).

В работе [1] нами было дано обоснование применению методов онтологического инжиниринга для реализации мультимедийных помощников, описан подход к использованию лексико-синтаксических шаблонов для автоматизации процесса создания онтологий из текстов инструкций по сборке технических изделий и его реализация в виде демо-прототипа OntoGen. Эта система представляет собой инструментальную среду для автоматизации и журнализации экспериментов по созданию онтологий. Построенные на основе текстов инструкций онтологии являются прикладными онтологиями и содержат описание как самих объектов сборки, так и решаемых задач (последовательности действий в процессе сборки агрегата).

Построенные онтологии хранятся в репозитории онтологий и используются для управления работой функционирующего на принципах дополненной реальности персонального мультимедийного помощника OntoAR [1]. Это позволяет адаптировать OntoAR к специфике сборки конкретного агрегата. Однако онтология, генерируемая из текстовой инструкции, не является достаточной для полноценного управления работой интеллектуального AR-помощника, которому, помимо сведений о последовательности действий, требуются также метазнания о процессе визуализации той или иной операции.

В данной работе мы опишем концепцию автоматизированного построения онтологий в новой версии OntoGen, позволяющей использовать дополнительные знания о мультимедийных ресурсах для обеспечения более высокого уровня автоматизации разработки мультимедийных помощников, и продемонстрируем ее работоспособность на упрощенном примере, описывающем замену лампы поворота в автомобиле марки Peugeot.

Суть предлагаемого подхода заключается в том, чтобы обогатить прикладную онтологию знаниями о способе сопровождения процесса сборки и об используемых мультимедийных ресурсах. В качестве способа сопровождения может выступать не только сцена дополненной реальности, но и более «простые» методы визуализации, например, анимация или видео. Необходимые мультимедийные ресурсы (в нашем примере это кадры видео, полученные в процессе эталонной съемки последовательности действий человека по замене лампы поворота в автомобиле марки Peugeot) хранятся в специальном образом организованном репозитории системы. В задачи такого репозитория помимо хранения ресурсов визуализации входит также поддержка внутренней целостности различных композиций этих ресурсов (например, сцен или последовательностей кадров) и обеспечение механизма переиспользования этих ресурсов и их композиций на основе метаданных.

Концепция обогащения прикладной онтологии заключается в том, чтобы каждому описанному в ней действию поставить в соответствие некоторый способ визуализации и набор ресурсов, который будет использоваться в процессе визуализации.

Рассмотрим в качестве примера процесс замены лампы поворота в автомобиле марки Peugeot. На рис. 1 представлен фрагмент предметной онтологии части кузова этого автомобиля. На рис. 2 представлен фрагмент репозитория, содержащего исходные кадры для анимации некоторого шага сборки. Кадры получены из видео демонстрационного процесса сборки автоматически при помощи свободно распространяемых программных средств видеомонтажа.

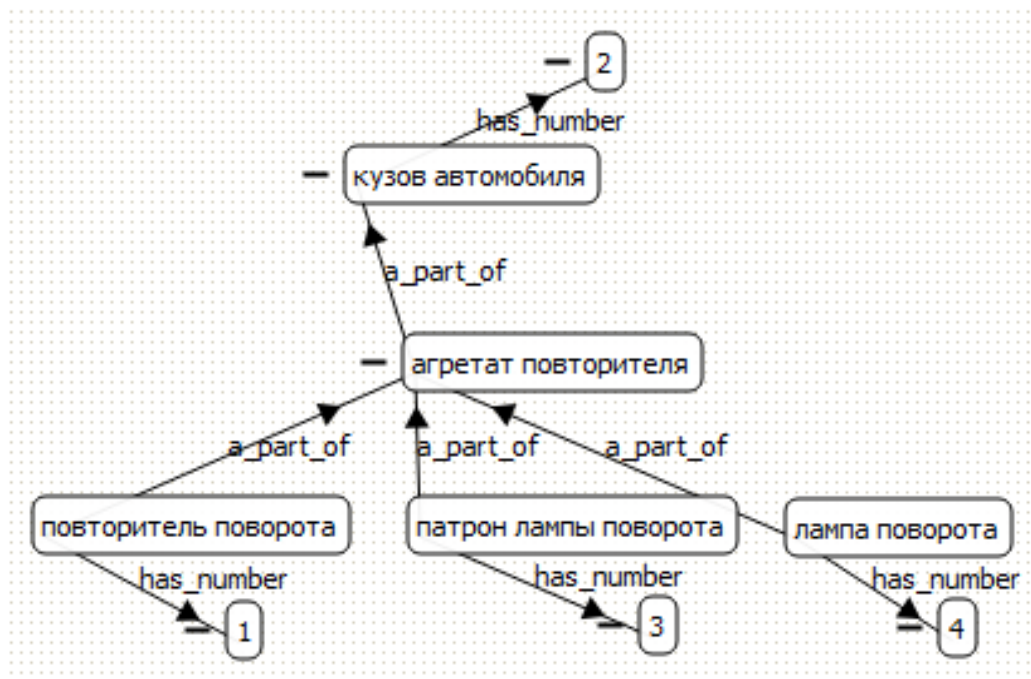


Рис. 1. Фрагмент предметной онтологии

```

repository
├── framesets
│   └── frameset #1
│       ├── MOV_0502089.jpg
│       ├── MOV_0502090.jpg
│       ├── MOV_0502091.jpg
│       ├── MOV_0502092.jpg
│       ├── MOV_0502093.jpg
│       ├── MOV_0502094.jpg
│       ├── MOV_0502095.jpg
│       ├── MOV_0502096.jpg
│       ├── MOV_0502097.jpg
│       ├── MOV_0502098.jpg
│       ├── MOV_0502099.jpg
│       ├── MOV_0502100.jpg
│       └── MOV_0502101.jpg

```

Рис. 2. Фрагмент репозитория кадров

На **Ошибка! Неверная ссылка закладки.** представлен фрагмент онтологии задачи, описывающей этот процесс. В данной онтологии узлы с глагольными именами представляют операции, а узлы с числовыми именами являются ссылками на узлы, представляющие детали, которые содержатся в онтологии, описывающей состав агрегата. Связь «next» определяет порядок следования операций, а связи «from» и «to» указывают на то, к каким деталям нужно применить то или иное действие. В качестве визуального сопровождения в данном примере используется анимация, генерируемая из набора кадров. Следовательно, каждому узлу онтологии, представляющему сборочную операцию, необходимо добавить информацию о кадрах, которые следует использовать для создания анимации. Очевидно, что при этом важен также порядок следования кадров.

В рамках предлагаемой концепции необходимые для визуализации ресурсы хранятся в специальном (возможно, удаленном, облачном) хранилище – репозитории. В функции

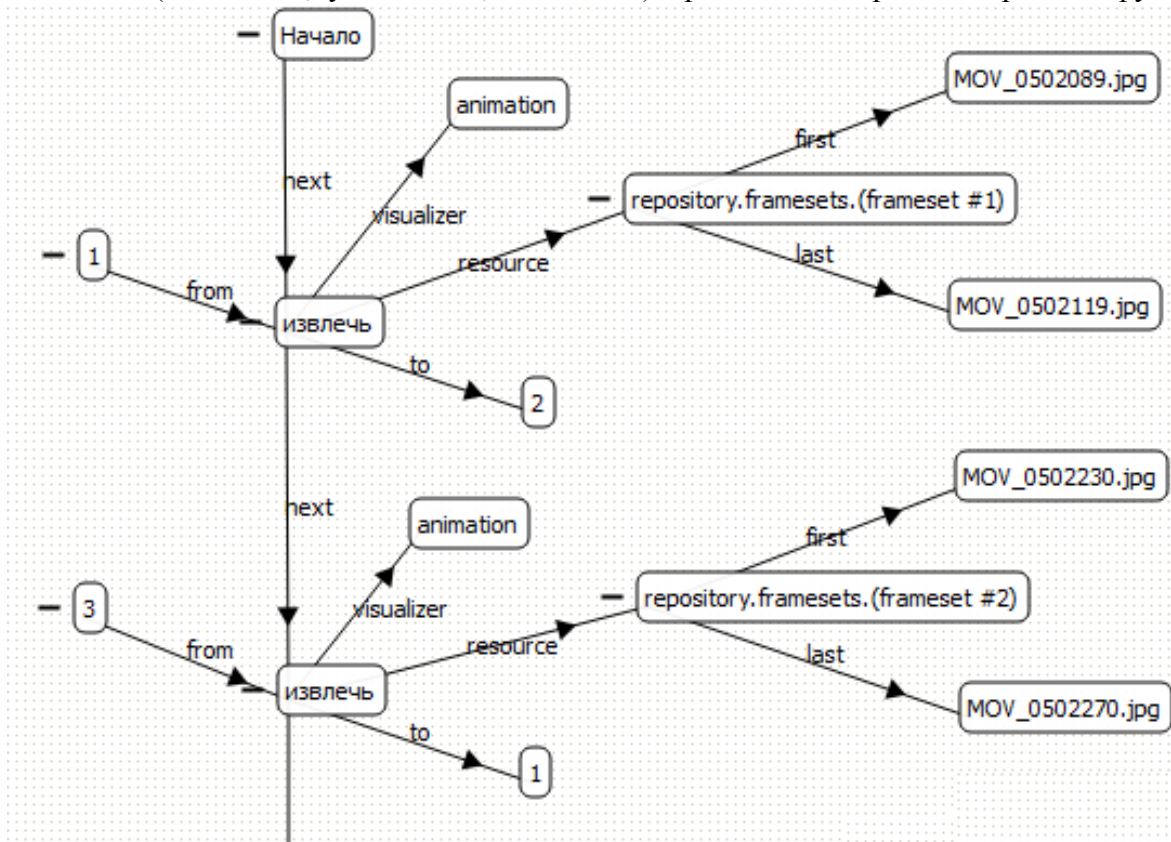


Рис. 3. Фрагмент онтология задачи замены лампы поворота

репозитория входит хранение ресурсов визуализации, поддержка внутренней целостности ресурсов и предоставление механизма переиспользования ресурсов.

Для хранения ресурсов в репозитории предлагается использовать подход, основанный на представлении связанных ресурсов в виде гранулы. За основу нами взята метафора введенного Лотфи Заде еще в конце 70-х годов понятия грануляции информации [3]. Эта метафора определяет гранулу как группировку объектов, определенных обобщенным ограничением. На данном этапе разработки мы упрощенно считаем, что нечеткие отношения в нашей задаче носят вырожденный характер, и в каждую гранулу входит последовательность кадров, необходимая и достаточная для качественной визуализации соответствующего шага сборки. Такого рода «раскадровку» эталонного видео с успехом выполняют современные средства видеомонтажа.

Каждая гранула, помимо информации о содержащихся в ней ресурсах, содержит также метаданные, используемые для контроля целостности ресурсов. Как видно из рис. 3, в случае создания анимации описание гранулы, состоящей из набора кадров, содержит метаданные о первом и последнем кадре этого набора, а также о способе индексирования кадров (метаданные более высокого уровня на рисунке не представлены). В рамках предлагаемой концепции, несмотря на то, что кадры одного шага анимации хранятся в одной грануле, мы дополнительно храним все метаданные о первом и последнем кадре анимации. Это позволяет на этапе обращения к ресурсам определить, находятся ли они в согласованном состоянии, а также выполнять высокоуровневые операции типа «декомпозиции» одной гранулы на несколько независимых и «композиции» новой гранулы из уже существующих.

Таким образом, гранула может содержать два типа объектов: непосредственно сами ресурсы или другие гранулы. По этому принципу гранулы соответственно делятся на два типа: конечные гранулы и гранулы-контейнеры. Декомпозиции могут быть подвержены только конечные гранулы. При этом создается две или более новых конечных гранулы, содержащие часть ресурсов, а сама разделяемая гранула становится гранулой-контейнером. Композиции подвержены оба типа гранул: при объединении создается новая гранула-контейнер, содержащая объединяемые гранулы.

Архитектура репозитория имеет трехслойную структуру. Реализация репозитория предполагает использование на нижнем уровне файлового репозитория SimplyFile, который в настоящее время разрабатывается студентами ПГНИУ в рамках своих выпускных квалификационных работ. На среднем уровне располагаются представленная выше модель, основанная на грануляции ресурсов, а также инструменты по проверке и поддержке ограничений целостности, а также по обработке ресурсов. На верхнем уровне представлены интерфейсы для работы с репозиторием: графический пользовательский web-интерфейс для управления ресурсами репозитория и REST API для программного взаимодействия.

Связывание объектов онтологии с объектами репозитория предлагается организовать с помощью специальных узлов. Такие узлы могут иметь произвольное имя, но должны в атрибутах содержать ссылку на соответствующий ему объект из репозитория. Таким образом, управляющий механизм при обходе такой онтологии сможет понять, что текущий узел должен быть загружен из репозитория. При загрузке ресурсов также будет проверено соответствие актуального состояния репозитория определенным ограничениям целостности.

Описанная концепция позволяет в полной мере воспользоваться всеми преимуществами онтологий. В частности, расширяемостью и переиспользованием. В контексте описанной в данной работе задачи это означает, что при расширении репозитория онтологий кадрами анимации, например, замены лампы поворота в автомобиле новой модели марки Peugeot, достаточно будет описать только те гранулы, которые отличаются для разных моделей этой марки.

### Библиографический список

1. *Реутов В.В.* Автоматизированное построение онтологических ресурсов для управления работой мультимедийных помощников, функционирующих на принципах дополненной реальности // Математика и междисциплинарные исследования – 2017: материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием – Пермь, 2007. Т.2. С. 191–195.
2. *Баданина Д.Я., Чуприна С.И.* Технологические аспекты разработки средств визуального сопровождения процесса сборки технических изделий. // Математика и междисциплинарные исследования: Сборник докладов конференции – Пермь: ПГНИУ, 2016. С. 294-299.
3. *Zadeh, L.A.* Fuzzy sets and information granulation, *Advances in Fuzzy Set Theory and Applications*, M. Gupta, R.K. Ragade, R.R. Yager (Eds.), North-Holland Publishing Company, 3-18, 1979.

### ONTOLOGY LEARNING CONCEPT TO MANAGE ONTOLOGY-BASED INTELLIGENT PERSONAL ASSISTANT FOR TECHNICAL PRODUCTS ASSEMBLY

*Vasily Reutov, Svetlana Chuprina*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, ya.vreutov@yandex.ru

The article devotes an ontology-driven approach to a multimedia accompaniment of the assembly of complex technical products. Ontology Learning system OntoGen is developed to automated extraction of the ontology from textual resources. This ontology is used for assembly process managing with the help of intelligent personal assistant. The main focus of the paper is to present the concept of extracted ontology enrichment with different multimedia resources, which are used for visual accompaniment, and to describe how these resources can be organized within system repository. The repository is based on granularity principles and intended not only to storage and support the multimedia resources reusing, but also to monitor the internal integrity of the resources. An example of multimedia accompaniment of the process of turn indicator light bulb replacement is shown.

Keywords: Natural Language Processing, Ontology Learning, Intelligent Personal Assistant, technical products assembly.

## РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПОИСКА РУССКОЯЗЫЧНЫХ ОНЛАЙН-КУРСОВ

*Стольниковая Алла Андреевна, Дацун Наталья Николаевна*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, alla100lnikova@gmail.ru

Рассматривается проект построения рекомендательной системы, применимой для формирования рекомендаций на базе интегратора русскоязычных массовых открытых онлайн-курсов. Выявлена актуальность создания такой системы. Рассмотрены различные существующие методы построения рекомендательных систем и выбран наиболее подходящий с учетом того, что у большинства русскоязычных MOOC-платформ отсутствуют оценки и рейтинги курсов, и с учетом характеристик курсов, используемых в интеграторе. Построена модель формирования списка рекомендаций с учетом взаимодействия системы и интегратора. Рассмотрены подходы преобразования входных данных к формату, с которым могут работать методы построения рекомендаций. Работа методов проверена реальными входными данными, взятыми из базы данных интегратора. На основе результатов выбран подход, с помощью которого можно получить наиболее подходящие рекомендации курсов.

Ключевые слова: MOOC, интегратор, рекомендательная система, фильтрация, взвешивание слов, степень схожести.

**Актуальность.** С 2012 г. MOOC – часть современных технологий в образовании. Существует много провайдеров, предоставляющих онлайн-курсы. Но проблема поиска курсов заключается в том, что пользователь вводит название и критерии поиска [1], руководствуясь своими предположениями о характеристиках необходимого ему MOOC. Чтобы найти нужный MOOC, будущему студенту придётся перебирать возможные сочетания критериев и подбирать запрос для поисковой строки, т.к. в названии могут присутствовать синонимы. Это занимает много времени, поэтому специалисты, работающие в этой области, пришли к выводу, что для оптимизации поиска MOOC необходимы рекомендательные системы. Это такие системы, которые могут определить, какие из всех имеющихся курсов наиболее похожи на сделанный пользователем запрос [2].

**Цель.** Существует много иноязычных интеграторов MOOC, для них проводились исследования и предлагались методы построения рекомендательных систем. Интеграторов русскоязычных курсов пока нет, соответственно, нет для них и рекомендательных систем. В работе [1] был описан проект интегратора русскоязычных MOOC. Цель данной работы – обосновать метод построения рекомендательной системы интегратора и создать ее модель.

**Методы.** На основе обзора методов построения рекомендательных систем [3] можно выбрать метод, который подходит для рекомендации MOOC. Коллаборативная фильтрация не подходит из-за отсутствия у большинства русскоязычных MOOC-платформ рейтингов курсов. Контекстный и не персонализируемый типы фильтрации никак не соотносятся с необходимым пользователю курсом. Система, основанная на знаниях, задает уточняющие

вопросы и будет требовать от пользователя больше времени на поиск, что не соответствует поставленной задаче. Контентная фильтрация – тип, основанный на анализе метаданных, метаданными будут заданные пользователем в интеграторе характеристики поиска курсов [1]. Контентная фильтрация – наиболее подходящий тип для рекомендательной системы МООС.

Входными данными для рекомендательной системы будут являться характеристики курса и текст поискового запроса. Система должна выбрать из списка курсов в базе данных некоторое количество наиболее близких к запросу и предложить их пользователю. Так как курсов в БД более 2000, расчет схожести с запросом для каждого будет занимать много времени. Поэтому сначала система будет формировать список курсов, которые могут оказаться близкими. Такие курсы должны относиться к схожим предметным областям и иметь в названии слова из запроса или их синонимы. На рис.1 представлена модель системы с указанием данных, которые подаются каждому из них на вход, и обработанных данных, которые компонент передает следующему за ним для дальнейшей обработки.



**Рис.1. Модель рекомендательной системы МООС**

Для формирования списка рекомендаций необходимо рассчитать степень схожести курсов. Есть много методов для таких расчетов, но каждому из них на вход нужно подавать числовые векторы. Значит, необходимо представить строки с названиями курсов БД и поискового запроса и векторы характеристик в виде числовых векторов. Характеристики – это заранее определенное множество значений. Значит, каждому значению каждой характеристики можно изначально присвоить числовое значение. Так, вектор характеристик сразу будет готов для расчёта степени схожести. Чтобы представить строковое значение названий в виде вектора чисел, числовым значением каждого слова можно считать его вес. Для нахождения веса слова приводятся к их корням, так решается проблема падежных окончаний и однокоренных слов. После расчета веса вектор названия также готов к расчёту.

В работе [4] исследованы несколько методов расчёта степени схожести. В нашем случае на точность влияет числовое значение слова / характеристики, а не метод расчёта. При наших входных данных удобнее использовать косинусную меру между векторами.

Осталось определиться с методом расчёта веса. Было проверено несколько методов:

- алгоритм абсолютных частотных мер (метод А). Основывается на приравнивании веса термина к его частоте появления в тексте [4];
- взвешивание с учётом синонимов (метод В). Вес вычисляется по методу TF-IDF, но значение учитывалось с коэффициентом. Использовались такие

значения коэффициентов [4]: главное слово имеет коэффициент 1; синоним главного слова - 0,9; уточняющее слово - 0,8; синоним уточняющего слова – 0,7. Остальные слова из запроса имели коэффициент 0,6; их синонимы – 0,5; слова названия курсов, не содержащиеся в запросе – 0,4;

– TF-IDF взвешивание (метод С). Взвешивание основывается на идее, что чем чаще слово встречается во всех документах, тем хуже оно идентифицирует конкретный [5];

– «сигнал-шум» (метод D). Алгоритм основывается на вычислении соотношения «сигнал-шум», по аналогии с теорией передачи информации Шеннона [4].

**Данные.** Для проверки работоспособности методов по запросу «Современные веб-технологии» из БД интегратора было выбрано 15 названий курсов: 1. Лекции по современным веб-технологиям; 2. Web-технологии; 3. Перспективные технологии и языки веб-разработки; 4. Перспективные языки веб-разработки; 5. Теория и практика разработки современных клиентских веб-приложений; 6. Веб-программирование; 7. Программирование и разработка веб-приложений; 8. Проектирование и разработка веб-приложений на основе технологий Microsoft; 9. Введение в стандарты Web; 10. Разработка интерактивных сайтов с помощью Microsoft Visual Web Developer; 11. Разработка веб-приложений на ASP.NET; 12. Разработка Web-приложений ASP.NET с использованием Visual Studio.NET; 13. Разработка web-приложений Tizen; 14. Разработка приложений Web 2.0 на Microsoft Sharepoint; 15. Разработка asp.net приложений.

В список попали курсы, в названиях которых есть синонимы и/или однокоренные слова. Курсы расположены в списке в порядке убывания схожести с этим запросом.

На основе результатов расчета степени схожести с использованием методов А - D определения веса слова были построены графики соотношения ожидаемого рейтинга (позиции в списке по схожести) и рассчитанного рейтинга. Графики показаны на рис. 2.

**Результаты.** Отклонения рассчитанного рейтинга от ожидаемого для всех методов значительные. Для методов А, С и D это происходит, потому что учитывается, в основном, «структура» названия – т.е. количество слов и их частота. Наименьшие отклонения проявились для метода С («сигнал-шум»). На первые позиции рейтинга по расчетам метода С попали те курсы, которые действительно могут оказаться полезными пользователю, сделавшему запрос. Лишние курсы на top-позиции не попали, в отличие от других методов. Из этого можно сделать вывод, что в рекомендательной системе лучше использовать метод С. Пользователю будут показываться из полученного списка первые n курсов с максимальной степенью схожести. Таким образом, курсы из «Тор-п» будут найдены по первому же запросу, что позволит оптимизировать временные затраты пользователя на поиск. Число показываемых курсов зависит от количества подобранных курсов и значений степеней схожести.



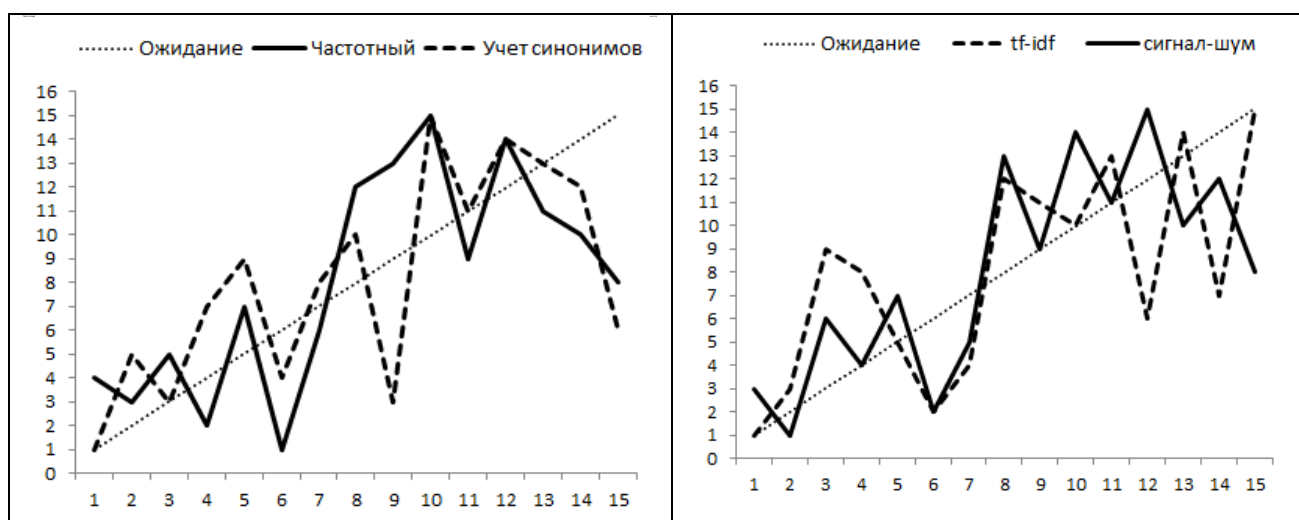


Рис. 2. Сравнение графиков рейтингов

### Библиографический список

1. Стольникова А.А., Дацун Н.Н. Проектирование MOOC-агрегатора для рунета // Математическое и информационное моделирование сборник научных трудов. Тюмень, 2017. С. 440-449.
2. Прохоров И.В., Мысев А.Э. Подходы к построению мультикритериальных рекомендательных систем, использующих неявные оценки // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2014. № 1. С. 33-36.
3. Недильченко О.С., Киселева С.Д. Распределенные вычисления в рекомендательных системах // Молодежный научно-технический вестник. 2017. № 1. С. 30.
4. Селяев А.Г. Взвешивание терминов в процессах индексирования электронных информационных ресурсов // Автоматизация процессов управления. 2007. № 2. С. 92-96.
5. Селивёрстов Е.В. Повышение качества рекомендательных систем за счет учета структуры документов // Nauka-Rastudent.ru. 2014. № 4 (04). С. 13.

## RECOMMENDER SYSTEM FOR RUSSIAN-LANGUAGE ONLINE COURSES SEARCH ENGINE OPTIMIZATION

*Stolnikova Alla A., Datsun Nataliya N.*

Perm State University, 15, Bukirevast., Perm, 614990, Russia, alla100lnikova@gmail.ru

The project of construction of a recommendation system applicable to the formation of recommendations based on the integrator of Russian-language mass open online courses is considered. The relevance of the creation of such a system is revealed. Various existing methods of construction of recommendation systems are considered and the most suitable one is chosen taking into account the fact that the majority of Russian-language MOOC-platforms do not have estimates and ratings of courses, as well as what are the input data for the system. A model for managing the lists of recommendations is constructed taking into account the interaction of the system and the integrator. The approaches of converting input data into a format with which the methods of constructing recommendations can work are considered. The work of the methods is checked by real input data taken from the database of the integrator. Based on the results, an approach has been chosen that can be used to obtain the most appropriate course recommendations.

Keywords: MOOC, integrator, Recommender system, filtering, weighing of words, the degree of similarity.

## УПРАВЛЕНИЕ ЗНАНИЯМИ В КОНСАЛТИНГОВЫХ КОМПАНИЯХ

*Тиунова Ксения Павловна*

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 614060, Россия,  
г. Пермь, ул. Студенческая, 38, tiunova.ksenia@gmail.com

Концепция управления знаниями позволяет изменить взгляд на автоматизацию предприятия, потому что основным акцентом является ценность информации. Наиболее остро вопрос управления знаниями стоит в консалтинговой деятельности, так как такие организации, в основном, занимаются «продажей» знаний. В рамках данной статьи представлено определение корпоративных знаний, показана важность управления ими, а также показана взаимосвязь данной области с информационными технологиями. Рассмотрены основные методы и инструменты управления знаниями предприятия.

Ключевые слова: интеллектуальный капитал, управление знаниями, системы управления знаниями

Концепция управления знаниями впервые появилась за рубежом примерно пару десятилетий назад (в конце 80-ых годов XX века). Чуть позднее начали зарождаться идеи об оценке нематериальных активов (интеллектуального капитала) компании [3]. После чего, начинает появляться большое количество статей, журналов и других изданий об управлении знаниями, также создаются специализированные организации (институты), которые занимаются исследованиями по вопросам технологий управления знаниями и их внедрения технологий в компаниях. Сегодня же данная тенденция только продолжает расти. Повсеместно проводятся конференции, и организуются обсуждения (форумы) о перспективах внедрения различных технологий управления знаниями в компаниях, что свидетельствует о заинтересованности общества в развитии концепции управления знаниями и о том, что данное направление является достаточно новым и актуальным в современном мире.

Наиболее подходящим определением, что такое знание является следующее: знание – это комбинация данных и информации, к которым добавлено мнение, мастерство и опыт эксперта, что в результате дает ценный актив, который может быть использован для оказания помощи в принятии решений. Знания являются важным ресурсом консалтинговой компании, эффективное управление которыми может принести выгоду. Зачастую управление знаниями связывают по смыслу с управлением интеллектуальным капиталом. Так как по факту оба направления (исследование управления знаниями и исследование интеллектуального капитала) являются взаимодополняющими и рассматривают с двух сторон один вопрос – это создание и дальнейшее использование знаний в качестве одно из ресурсов компании. Эффективное управление корпоративными знаниями приносит выгоду компании, процессы создания и эффективного использования интеллектуального капитала компании позволяют поддержать уровень организации на конкурентоспособном уровне.

На сегодняшний день практически все методы и инструменты управления знаниями предприятия основываются на информационных технологиях (ИТ), которые строятся на основе систем обработки данных, а также систем искусственного интеллекта. Можно выделить следующие инструменты, которые применяются в компаниях для задач управления знаниями:

1. Базы знаний – системы, в которых хранятся описания возникавших ранее профессиональных ситуаций и проблем, правил поведения в них и успешные пути их решения (извлеченные уроки). Такие системы еще называют базами извлеченных уроков или лучших практик.
2. Системы поиска – системы, обеспечивающие поиск информации по всем имеющимся в компании базам данных. Такие системы могут также предоставлять сотрудникам определенные «выборки» данных, которые могут помочь им в определённой ситуации. В качестве примера можно привести «страничку новичка» – это подборка информации, которая будет интересна новым сотрудникам организации, которая поможет сотруднику быстро вникнуть в то, чем занимается данная компания и какие в ней определены правила и положения.
3. OLAP-системы – основываются на методах статистики, нейронных сетей и генетических алгоритмов. Данные системы достаточно редко внедряются в компаниях, так как требуют достаточно много трудозатрат и финансов для ее разработки и внедрения.
4. Системы для поддержки принятия решений – экспертные системы, которые построены на методах искусственного интеллекта.
5. Средства для организации совместной работы – к ним можно отнести инструменты для групповой работы сотрудников и корпоративные порталы. Эти средства можно только условно отнести к инструментам управления знаниями, так как они используются в основном для фиксации знаний и последующего повторного обращения к ним.

Все описанные выше инструменты и системы можно рассматривать как отдельные средства для управления знаниями либо как составные части одной более сложной системы управления знаниями (СУЗ). Все ресурсы могут быть распределены территориально и в разных системах. Часть данных может находиться в бумажном формате, другая часть в базах данных различных информационных систем. Сотрудники компании могут работать в офисах, которые распределены не только в рамках одного города, но и по стране или миру в целом. Поэтому одна из трудностей, но в то же время и преимуществ, при создании СУЗ – сбор данных из различных источников в одном месте или консолидация знаний.

Среди огромного количества инструментов для управления знаниями возникает вопрос, какие из них лучше всего использовать. В 2013 году был проведен экспертный опрос московских организаций из различных сфер (энергетики, оптовых продаж, консалтинга и производства), размером от 200 до 20 тысяч сотрудников. Согласно полученным результатам, наиболее распространены следующие инструменты управления знаниями – корпоративные порталы и базы знаний (более 90% компаний). Также 71% организаций внедряют и используют систему наставничества. На третьем месте – системы дистанционного обучения (использование различных онлайн курсов и вебинаров). Наименьшим «спросом» среди российских компаний пользуются профессиональные сообщества, использование подходов Wiki (представление знаний в виде статей, которые могут совместно редактироваться несколькими экспертами) и организация центров компетенций. Другой опрос, проведенный компанией Кносо, показал, что консалтинговые компании развивают и используют следующие системы управления знаниями: сообщества практиков, анализ опыта (извлеченные уроки), лучшие методы практики (best practices) и информационные системы с различным доступом к материалам и данным для сотрудников.

Несмотря на возможные большие издержки, многие организации уверены, что управление знаниями может принести намного больше положительных эффектов, в отличие от размера средств, которые затрачены на разработки и поддержание бизнес-процессов данного направления деятельности компании. Данное мнение поддерживается проведенными исследованиями в области оценки внедрения СУЗ в организациях. Так, например, в работе Е. Н. Бражниковой «Оценка эффективности внедрения Системы

Управления Знаниями в нефтегазовых компаниях» [1] была наглядно представлена практическая значимость управления знаниями на примере зарубежных компаний. Внедряя систему управления знаниями, British Petroleum ставила в качестве цели – развитие преимуществ за счет собственных инноваций. В результате после внедрения системы управления знаниями была получена экономия в размере 260 млн. долл. в год, которая достигалась тиражированием систем обмена знаниями.

Если попробовать оценить результаты внедрения систем управления знаниями, то можно выделить следующие эффекты: повышение эффективности выполнения бизнес-процессов организации, сокращение времени на поиск необходимой информации, повышение продуктивности совместной работы сотрудников, увеличение количества и повышение качества выполнения производственных задач сотрудниками организации и многие другие. Все это доказывает значительную роль знания в деятельности организации, а управление знаниями все больше интересует современные организации, вне зависимости от рода их деятельности – консалтинг, разработка продуктов и т.д. Системы управления знаниями (СУЗ) все больше притягивают к себе внимание исследователей и практиков.

### **Библиографический список**

1. *Бражникова Е. Н.* Оценка эффективности внедрения Системы Управления Знаниями в нефтегазовых компаниях. // Материалы II-й Международной конференция «Оптимизация проектов и повышение эффективности компаний ТЭК: Управление знаниями». 2012.
2. *Карнаух И.В.* Управление знаниями на предприятии: необходимость организации и возможность внедрения // Власть. 2012. №5.
3. *Руденко И.В., Винжегин О.М.* Эволюция и основные концепции управления знаниями в современных условиях // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2009. №3.
4. *Фирсова П.* Системы управления знаниями – мировой опыт [Электронный ресурс] URL: <http://www.ispring.ru/elearning-insights/sistemy-upravleniya-znaniyami-mirovoy-opyt/> (дата обращения: 26.03.2018)
5. *Quast L.* Why Knowledge Management Is Important To The Success Of Your Company. [Электронный ресурс] URL: <https://www.forbes.com/sites/gradsoflife/2017/01/27/why-we-must-rebuild-americas-competency-infrastructure/#2b66160b2b66> (дата обращения: 26.03.2018).

### **KNOWLEDGE MANAGEMENT IN CONSULTING COMPANY**

*Tiunova Ksenia P.*

National Research University Higher School of Economics, 38, Studencheskaia St., Perm, 614060, Russia, tiunova.ksenia@gmail.com

The concept of knowledge management allows changing the view of enterprise automation, because the main emphasis is the information value. The most acute issue of knowledge management is in the consulting business, since such organizations are mainly engaged in the knowledge "sale". Within this article, the definition of corporate knowledge is presented, the importance of their management is shown, and the relationship of this field with information technologies is shown. The main methods and tools of enterprise knowledge management are considered.

Keywords: intellectual capital, knowledge management, knowledge management systems

## **ДИАГНОСТИКА ЗАБОЛЕВАНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛЕВРАЛЬНОЙ ЖИДКОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ**

*Чжан Алёна Николаевна*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, helzhang@mail.ru

В статье рассматривается возможность применения метода опорных векторов для диагностики заболеваний по результатам исследования плевральной жидкости. Приведено описание метода опорных векторов, показаны методы диагностики, применяемые в своей работе врачами-специалистами (задача поставлена Пермского медицинского университета), а именно, поиск заранее известных шаблонов на фотографическом изображении капли плевральной жидкости. Приведено описание инструментария, используемого для разработки конкретной программной системы диагностики заболеваний, и информация об используемых алгоритмах распознавания образов. Приведены результаты примененных методов распознавания и высказываются идеи для улучшения программной системы с целью получения более достоверных результатов.

Ключевые слова: метод опорных векторов, распознавание образов, диагностика заболеваний по микроанализам, OpenCV.

В статье представлены предварительные результаты разработки специальной программной системы, позволяющей провести раннюю диагностику по результатам анализов. В конкретном случае рассматриваются исследования, связанные с анализом плевральной жидкости. В настоящее время нет программных систем, которые позволяли бы автоматически выявить то или иное заболевание по фотографическому изображению плевральной жидкости, следовательно, разрабатываемая программная система является актуальной.

Программная система предполагает отнести фотографическое изображение, предъявленное для распознавания, к тому или иному классу заболеваний.

Для классификации изображений существуют различные способы, в том числе: использование нейронных сетей, опорных векторов, дискриминантного анализа [1]. В настоящей работе предпринята попытка использовать метод опорных векторов.

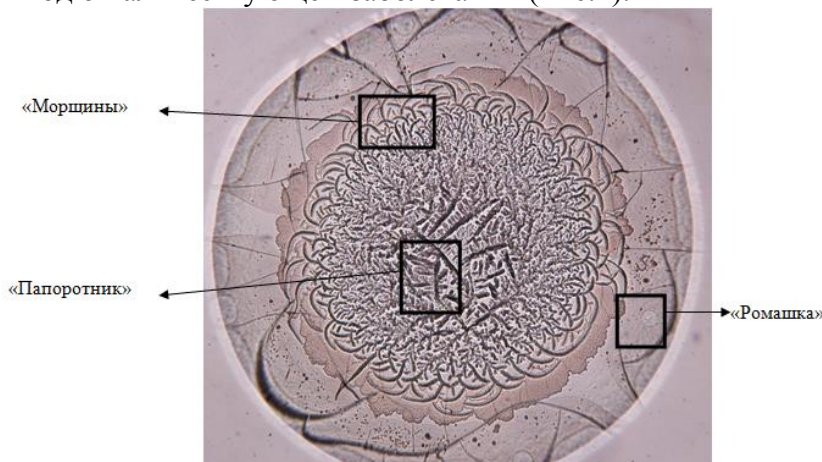
Метод опорных векторов (англ. support vector machine или SVM) — метод обучения с учителем, использующийся для задач классификации и регрессионного анализа [2], он зарекомендовал себя эффективным методом и широко используется различных исследованиях.

Главной идеей метода является поиск разделяющей гиперплоскости, которая отделяет объекты двух или более классов таким образом, чтобы они находились на максимальном удалении от гиперплоскости и, следовательно, друг от друга.

Метод опорных векторов состоит из двух этапов: этап обучения и этап распознавания. Этап обучения заключается в том, что из множества обучающих примеров отбираются опорные векторы, на основе которых строится разделяющая плоскость. На этапе

распознавания на вход обученного классификатора подается вектор  $X$ , классовая принадлежность которого неизвестна. Классификатор должен определить, к какому классу относится вектор  $X$ .

Для диагностики заболеваний используют различные анализы: крови, клеток или тканей. Специалист рассматривает биологический материал под микроскопом, а затем делает заключение. Основная идея: найти на изображении различные шаблоны, по которым и можно сделать вывод о наличии заболевания (Рис.1).



**Рис. 1 Биологический материал человека, больного пневмонией**

Здесь «морщины», «папоротник» и «ромашка» - названия, используемые для обозначения шаблонов. Для других заболеваний существуют другие шаблоны. Помимо этого у одного и того же заболевания могут быть разные комбинации шаблонов. Использование шаблонов позволяет построить дескриптор изображений и сравнивать их с эталонными (построенными на этапе обучения). На настоящем этапе исследования вместо дескриптора используют вектор признаков. В качестве признаков выступают пиксели, закрашенные в черный или белый цвета и, соответственно, имеющие значение 1 или 0.

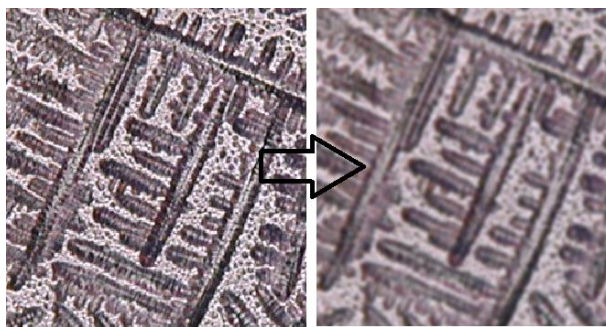
В качестве основного инструментального средства для проведения предварительной обработки изображения использовалась открытая библиотека OpenCV, а точнее, оболочка над библиотекой для работы на платформе .NET – EmguCV. В качестве языка программирования был выбран язык C#.

Чтобы изображение эффективно распознано, необходимо провести его предварительную обработку. Она необходима для унификации всех изображений как использованных для обучения, так и поданных на вход обученному классификатору. Предварительная обработка состоит из следующих этапов:

1. Устранение шумовых помех на изображении.
2. Бинаризация изображения.
3. Сегментация нужной части изображения для распознавания.

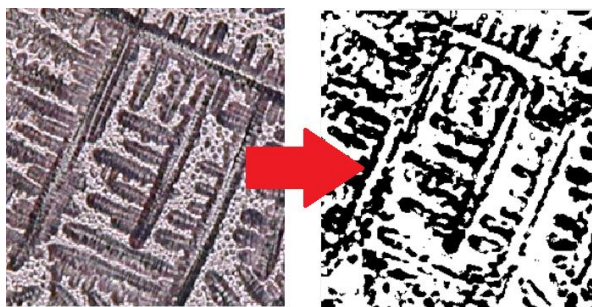
Рассмотрим их более подробно.

Сглаживание - распространенная операция обработки изображения, используемая для снижения шумов. В данной реализации применяется сглаживание Гаусса, которое меняет значение каждой точки текущего слоя на среднее значение всех точек в определенном радиусе от рассматриваемой точки (Рис. 2). Для удаления шума размер окна сглаживания берется небольшим.



**Рис. 2 Сглаживание шумов**

Далее выполняется процесс порогового преобразования. Такой процесс называют «бинаризацией». Пороговая бинаризация – разбиение изображения на две области, одна из которых содержит все пиксели со значением ниже некоторого порога, а другая содержит все пиксели со значением выше этого порога. Ниже представлены результаты бинаризации изображения (Рис. 3).



**Рис. 3 Бинаризация изображения**

Сегментация делит изображение на составные части и объекты. Сегментацию следует остановить, когда интересующие объекты уже выделены или изолированы [2]. Сегментация часто используется в компьютерных системах обработки изображений в медицине [4, 5].

В целях сегментации на изображении выделяют контуры. Для поиска контуров используется детектор границ Канни. Контуры формируются следующим образом: выделяются пороги - верхний и нижний. Если градиент пикселя имеет значение большее, чем верхний порог, значит, он включается в грань, меньше – отбрасывается. На рис. 4 представлен пример сегментации.



**Рис. 4 Сегментация**

В ходе работы была разработана система для диагностики заболеваний. Оценка качества работы этой системы проводилась экспериментальным путем. В области распознавания для этого вводят понятие ошибки первого и второго рода:

- Ошибка I рода – это «ложный основной», присваивается, когда основной класс ошибочно принимается как вторичный.
- Ошибка II рода – «ложный вторичный», присваивается, когда вторичный класс принимается как основной.

Такие величины более наглядно отражают качество распознавания, поскольку не зависят в явном виде от количества объектов в тестовом наборе.

Результаты тестирования системы показали, что обученная машина опорных векторов всегда определяет один и тот же результат, это означает, что данный метод недостаточно эффективен для решения поставленной задачи. Это можно объяснить следующими утверждениями:

- Метод опорных векторов хорошо работает для двух классов, но не очень хорошо для нескольких классов.
- Количество изображений некоторых классов очень мало (6-10), это, возможно, повлияло на обучение системы, поскольку, чем больше обучающих примеров – тем лучше система.
- Вероятно, все изображения кажутся методу очень похожими, и разделение классов гиперплоскостью происходило очень близко друг от друга.

В дальнейшем планируется доработать систему, чтобы улучшить результаты. Основная идея - создать систему, имитирующую работу реального специалиста, то есть, она должна находить на изображении различного рода шаблоны, после чего принимается решение на основе наличия или отсутствия шаблона на изображении.

### Библиографический список

1. *А.В. Дороничева, С.З. Савин.* Методы распознавания медицинских изображений для задач компьютерной автоматизированной диагностики [Электронный ресурс] URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14414> (дата обращения: 20.12.2017)
2. *Лепский А.Е., Броневиц А.Г.* Математические методы распознавания образов: Курс лекций. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009, 155 с.
3. *Грузман И.С., Киричук В.С., Косых В.П., Перетягин Г.И., Спектор А.А.* Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002., 352 с.
4. *Никитин О.Р., Пасечник А.С.* Оконтуривание и сегментация в задачах автоматизированной диагностики патологий // Методы и устройства передачи и обработки информации, 2009., № 11., С.300-309.
5. *А.В. Дороничева, С.З. Савин.* Сегментирование медицинских данных // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине, 2015, С. 168–171.

### DIAGNOSIS OF DISEASES USING THE SUPPORT VECTOR MACHINE

*Zhang Alena N.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, helzhang@mail.ru

This article is dedicated to the opportunity of using support vector machine for diagnosis of diseases with help of microanalyses photographs. Also support vector machine's theoretical bases and diagnosis methods are presented, which are using by specialists, namely search for already known patterns on blood drop pictures. The toolkit used for the direct development of the disease diagnosis system and information on the used pattern recognition algorithms in the implementation are presented. Unfortunately, support vector machine did not the best job in the current task. Ideas for the future about how to make developed system better to achieve better results are also given.

Keywords: support vector machine, pattern recognition, diagnosis of diseases using microanalyses, OpenCV.



## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ МОШЕННИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ИГРОКОВ В СЕТЕВЫХ ИГРАХ

*Шардина Элиза Дмитриевна, Городилов Алексей Юрьевич*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, ehlizashardina@yandex.ru

Одним из вариантов мошеннических действий игроков в сетевых играх является использование игроками специальных программ, называемых ботами, которые управляют действиями игрового персонажа. В данной статье произведён анализ актуальности проблемы выявления ботов в сетевых играх. Рассмотрены средства выявления мошеннического поведения игроков, и выделено наиболее подходящее – экспертная система, основанная на нечётких знаниях. Для одной из сетевых игр приведены результаты проектирования базы знаний, являющейся частью разрабатываемой системы. Набор критериев, используемых в базе знаний, формировался методами инженерии знаний с привлечением экспертов – разработчиков и пользователей игры. Для определения коэффициентов доверия к выявленным критериям был проведен опрос экспертов. По результатам исследований создан прототип экспертной системы с помощью оболочки GURU.

Ключевые слова: экспертная система, GURU, боты в сетевых играх, инженерия знаний.

В последнее время появляется всё больше ботов (специальных программ, выполняющих автоматически, и, возможно, по заданному расписанию, какие-либо действия через интерфейсы, предназначенные для пользователя), которые не только облегчают нам выполнять рутинные задачи, но также могут нанести тот или иной вред, например, игровые боты. Их можно разделить на два типа: 1) бот, выступающий в роли оппонента в сетевой игре, на котором можно тренироваться без наличия реальных противников [1]; 2) программа, имитирующая действия реального игрока. Использование бот-программ второго типа нарушает естественный баланс игры, ставит бот-пользователей в привилегированное положение относительно других игроков, нарушает экономический баланс [2]. Именно поэтому использование ботов обычно запрещено правилами.

В открытой литературе информация о методах выявления ботов в сетевых играх практически отсутствует, что можно легко объяснить: если такая информация станет доступна недобросовестным игрокам, им будет проще обходить используемые администрацией игры проверки. В частных беседах с некоторыми разработчиками выяснилось, что часто проверки на использование ботов выполняются экспертом вручную.

Таким образом, задача обнаружения ботов является чрезвычайно актуальной для поддержания игрового баланса и интереса к игре у честных игроков. При этом количество пользователей в популярных сетевых играх может достигать сотен тысяч и даже миллионов игроков, поэтому выявление мошеннического поведения в ручном режиме неэффективно, и требуется автоматизация решения этой задачи.

Учитывая нестрогую формализацию задачи, отсутствие чётких критериев и большой объём обрабатываемых данных, для обнаружения ботов могут использоваться различные средства из области искусственного интеллекта (ИИ). Рассмотрим основные методы, применяемые в системах ИИ.

### 1. Генетические алгоритмы.

Генетический алгоритм использует эволюционные методы, основанные на оптимизации функций для получения лучших решений проблемы. Такие характеристические функции позволяют оценить степень приспособленности конкретных особей в популяции и выбрать из них те, которые имеют наибольшие значения. Функция оказывает сильное влияние на функционирование генетических алгоритмов и должна иметь достаточно точное, детерминированное определение, что в условиях решаемой задачи невозможно, так как возникает проблема определения функции и алгоритма её вычисления.

### 2. Искусственные нейронные сети.

Искусственная нейронная сеть представляет собой вычислительную структуру, обрабатывающую информацию по принципу биологических нервных систем, таких как человеческий мозг. Главное преимущество нейросетей - их способность к обучению. Для обучения нейронной сети требуются обучающие данные, отвечающие свойствам представительности и случайности или последовательности. Однако, обучение нейронной сети занимает много времени, и в решаемой задаче мы сталкиваемся с проблемой ограниченного набора обучающих данных.

### 3. Экспертные системы

Экспертная система (ЭС) – специализированная программная система, которая на основе расширяемой базы знаний экспертов в некоторой узкой проблемной области способна тиражировать знания и консультировать пользователей при решении их повседневных или профессиональных неформальных задач.

Задача распознавания ботов является плохо формализованной, поэтому для ее решения целесообразно использовать такие методы, которые учитывают неполноту, неточность, ненадежность исходных данных, отсутствие точных алгоритмов. Основу одного из способов решения данной задачи составляет аппарат нечеткой логики.

Таким образом, экспертная система, основанная на нечетких знаниях, является наиболее подходящим средством для выявления мошеннического поведения игроков в сетевых играх. Для представления знаний в данной работе выбрана продукционная модель, так как она наглядна и позволяет легко вносить дополнения и изменения.

При разработке ЭС была использована концепция быстрого прототипа, позволяющая выяснить, подходит ли экспертная система продукционного типа для решения поставленной задачи. Для реализации данной концепции была выбрана оболочка ЭС GURU [3].

Начальной стадией разработки ЭС является наполнение базы знаний, а для этого необходимо учитывать специфику конкретной сетевой игры. В данном исследовании рассматривается игра Lordmancer II – массовая многопользовательская ролевая онлайн-игра на русском языке, в которой присутствуют синхронные бои с другими игроками, огромный открытый мир, различные кланы и фракции.

Выбранный метод обнаружения ботов основан на анализе характеристик игрока. При определении таких характеристик, которые могут изменяться при использовании ботов, были использованы методы инженерии знаний [4]. Всего было предложено 16 характеристик, таких, как интервал между подряд идущими боями, количество часов, проведенных в игре в режиме онлайн в сутки, количество персонажей и их средний уровень и др. В ходе выполнения этапов идентификации и концептуализации был проведен опрос экспертов – разработчиков игры, целью которого было определение коэффициентов доверия (CF) к выявленным характеристикам.

Целью консультации с разработанной ЭС является выявление игроков, использующих ботов. По каждому конкретному игроку может быть вынесен вердикт, использует он бота или нет, с определённой степенью доверия. Экспертная система включает в себя базу знаний, которая в настоящий момент содержит 83 продукционных правила, что соответствует количеству правил при создании прототипа экспертной системы.

Создание первого прототипа должно подтвердить, что выбранные методы решений и способы представления знаний пригодны для успешного решения поставленной задачи. С целью тестирования прототипа было рассмотрено 20 примеров. В большинстве случаев система давала точное заключение ( $CF = 99$ ) о том, использует ли игрок бота или нет, во всех таких случаях заключение полностью совпадало с мнением экспертов. Помимо этого, были примеры, когда система выдавала результаты, в которых разница между коэффициентами доверия в заключениях «использует бота» и «не использует бота» составляла менее 5 единиц. Такие результаты можно трактовать следующим образом: «игрок скорее всего использует (не использует) бота». Лишь в трёх подобных случаях мнение экспертов отличалось от заключения ЭС, а в остальных – совпадало.

Таким образом, результаты консультации с ЭС показали, что мнения экспертов и ЭС совпали в 17 из 20 случаев, что говорит о том, что методы решения и способы представления знаний подтвердили свою эффективность.

### Библиографический список

1. *J.M.P. van Waveren*. The Quake III Arena Bot // Delft University of Technology. 2001. Vol. 1 – 118 p.
2. *Ускоряем заработок в MMORPG*. Обзор ботов, чит-программ и другого ПО [Электронный ресурс] URL: <http://zarobotaydengi.com/uskoryaem-zarabotok-v-mmorpg/> (Дата обращения: 01.03.2018).
3. *Васнев Ю.Б., Бабанев А.Г., Бессонов М.Б., Блинов М.Н.* Экспертные системы в GURU. Справочное пособие. // Санкт-Петербургский государственный университет, 1993. – 112 с.
4. *Simon Kendal, Malcolm Creen*. An Introduction to Knowledge Engineering // Springer-Verlag London Limited, 2007. – 294p.

## AUTOMATED SYSTEM OF THE PLAYERS FRAUDULENT BEHAVIOR DETECTION IN ONLINE GAMES

*Shardina Eliza D., Gorodilov Alexey Yu.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, ehlizashardina@yandex.ru

One of the variants of fraudulent behavior of players in network games is the use by players of special programs - bots, which control the actions of the game character. This article shows the relevance of the problem of detection bots in online games. Also, the player's fraudulent behavior detection methods are parsed and the best option - fuzzy logic expert system - is elicited. For one of the online games, the results of the design of the knowledge base that is part of the system being developed are presented. A set of criteria used in the knowledge base was formed by methods of knowledge engineering with the participation of experts - developers and users of the game. An expert survey was conducted to determine the confidence coefficients for the identified criteria. The expert system prototype, based on the result of the research, was developed using the GURU shell.

Keywords: expert system, GURU, online game bots, knowledge engineering methods.

## ПРОГРАММА-ТРЕНАЖЕР ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АЛГОРИТМИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ИГРЫ «ПОЖАРНЫЙ ТАНК»

*Щелкунов Андрей Александрович*

Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”, 614070, Россия,  
г. Пермь, ул. Студенческая, 38, would.you.kindly@yandex.ru

Работа посвящена проблеме развития параллельного алгоритмического мышления у программистов. В работе описан один из наиболее эффективных методов обучения на примере компьютерной игры-тренажера. Описана концепция игры, способ взаимодействия игрока с тренажером. В качестве обучающего метода выбран репродуктивный метод. Описаны методы повышения эффективности обучения, приведена архитектура системы, каждый компонент которого отвечает за реализацию того или иного метода.

Ключевые слова: параллельное программирование, алгоритмическое мышление, тренажер

**Введение.** Изучение основ алгоритмизации является важной частью в образовательном процессе обучающихся, в частности тех, чья будущая деятельность связана с разработкой программного обеспечения. На текущий момент существующие решения направлены на развитие исключительно последовательного мышления, при котором задачи выполняются по одной друг за другом [1]. Следовательно, существует дефицит программных продуктов, поддерживающих методы обучения, целью которых является развитие параллельного алгоритмического мышления, и разработчики не имеют возможности развить эти навыки.

**Проблема** работы заключается в том, что разработчики не имеют соответствующих навыков для работы с параллельными вычислениями. Наиболее актуальными проблемами при разработке параллельных программ являются взаимные блокировки, несинхронный доступ, планирование и организация связей между параллельными процессами [2].

**Актуальность** работы связана с необходимостью обучения будущих программистов основам алгоритмизации параллельного выполнения, а **практическая значимость** обусловлена тем, что в процессе обучения развивается параллельное алгоритмическое мышление, а также приобретаются навыки планирования и организации связей.

Наиболее эффективным способом обучения является тот, который связан с игровым процессом [3]. Поэтому с целью достижения наибольшего результата реализация метода обучения будет выполнена посредством внедрения игрока в игровой процесс на примере игры «Пожарный танк».

Цель работы – разработка тренажера по параллельному программированию, способствующего развитию параллельного алгоритмического мышления.

**Постановка задачи.** В настоящее время одним из способов повышения эффективности программ является распараллеливание алгоритмов [4]. Причиной медленного выполнения вычислений последовательных алгоритмов является необходимость выполнения шагов алгоритма друг за другом. Время выполнения всего алгоритма при этом равно сумме времени работы каждого из его шагов, т.к. пока вычисляются начальные значения, следующие после них операторы ожидают, пока свою работу не закончат предыдущие. С

другой стороны, разработка последовательных алгоритмов более проста, программа более сопровождается, т.к. программисту во время работы над определенным функциональным блоком не нужно помнить о других.

В отличие от последовательных алгоритмов, выполнение параллельных происходит в разы быстрее, т.к. время завершения работы нескольких блоков равно времени выполнения самого долгого блока, кроме случаев, когда на организацию взаимодействия между процессами тратится слишком много процессорного времени. Недостатком таких программ является повышенная сложность разработки и дальнейшие трудности в сопровождении программы, т.к. программисту необходимо контролировать работу всех модулей, работающих в параллельном режиме.

На данный момент существует много типов программного обеспечения с повышенными требованиями к процессорному времени, такие как операционные системы, браузеры, системы реального времени, системы работы с графикой и т.д. В таких программах должны быть реализованы именно параллельные алгоритмы, иначе эффективность работы резко понижается, и она становится неэксплуатируемой.

Проблема работы заключается в том, у разработчиков не развито параллельное алгоритмическое мышление. Причина в том, что во время обучения они редко встречаются с задачами, требующими распараллеливания процессов. Для устранения этого недостатка в данной работе предлагается решение на основе тренажера на примере игры «Пожарный танк».

Игра «Пожарный танк» представляет собой тренажер для развития алгоритмического мышления. Действие игры разворачивается в определенной местности, где происходит пожар. Сцена представлена в виде прямоугольной карты, разделенной на клетки, на которых расположены игровые объекты. Игровыми объектами могут быть пожарные танки, которыми управляет игрок для тушения пожара, объекты, которые могут воспламениться, препятствия, которые необходимо обходить. Также на состояние сцены влияет ветер, который распространяет огонь по игровым объектам. Игровой процесс представляет собой разработку алгоритма, согласно которому будет действовать пожарный танк.

Алгоритм, который необходимо составить, должен быть параллельным, т.е. отдельные шаги алгоритма могут выполняться одновременно. Разделенными на параллельное выполнение могут быть такие процессы, как управление танком на местности (передвижение), управление башней танка (повороты) и стрельба, выполняемые разными исполнителями. Более того, танков может быть несколько, каждый из которых выполняет свой алгоритм одновременно с другими.

Цель игры – составить наиболее эффективный алгоритм параллельного выполнения, при котором будет уничтожено как можно меньше игровых объектов. Программа предназначена для развития параллельного алгоритмического мышления и навыков планирования и организации связей между параллельными процессами.

В качестве метода обучения в игре используется репродуктивный метод [5]. Он предполагает, что перед началом игры обучающемуся будет предложен готовый алгоритм, решающий определенную задачу, а игроку требуется выполнить построение подобного алгоритма.

Для повышения эффективности обучения при работе с тренажерами в литературе предлагаются некоторые методы. Наиболее упоминаемым является использование метода визуального программирования [6]. Как правило, в подобных тренажерах для построения алгоритма используются графические блоки, которые имитируют операторы языка. Преимуществом такого подхода является то, что метод акцентирует внимание исключительно на алгоритме, не требуя от программиста знания синтаксиса, более того, алгоритм становится нагляднее. Однако данный подход мало применим к параллельным алгоритмам ввиду последовательного сцепления блоков с операторами. В данном случае для построения алгоритма больше подходит таблица. Выполнение происходит также построчно,

однако больше акцентируется внимание на параллельное выполнение шагов алгоритма, расположенных в разных столбцах в одной строке таблицы.

Другим способом повышения эффективности обучения является демонстрация результатов работы построенного пользователем алгоритма и прогресса [7]. Для его реализации тренажер требует сбора статистики в базе данных. Поэтому программа представляет собой распределенную вычислительную систему, разделенную на основную часть, в которой непосредственно выполняется построение алгоритма игроком, и учетную, которая предназначена для сбора результатов работы алгоритмов и демонстрации игрокам.

**Заключение.** В работе предложено решение проблемы развития навыков параллельного программирования. Представлены методы, которые могут быть использованы при разработке тренажера для повышения эффективности обучения, предложен репродуктивный метод обучения. Описана концепция игры. В работе также приведена постановка задачи. В будущем планируется разработать тренажер, выполнить развертывание в НИУ ВШЭ – Пермь и провести апробацию системы.

### Библиографический список

1. *Kirkpatrick K.* Parallel Computational Thinking // Communications of the ACM, 2017.
2. НОУ ИНТУИТ | Лекция | Приемы и технологии программирования многоядерных процессоров [Электронный ресурс] // <https://www.intuit.ru>: [сайт]. [2003]. URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/622/478/lecture/21075> (дата обращения: 05.03.2018).
3. *Debabi W., Bensebaa T.* Using Serious Game to Enhance Learning and Teaching Algorithmic // Journal of e-Learning and Knowledge Society, 2016.
4. НОУ ИНТУИТ | Лекция | Параллельные вычисления [Электронный ресурс] // <https://www.intuit.ru>: [сайт]. [2003]. URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/10554/1092/lecture/27087?page=2> (дата обращения: 02.03.2018).
5. *Сокольская М.А.* О методах обучения бакалавров направления «Педагогическое образование» по профилю «Информатика» основам параллельного программирования // Вестник ТГПУ, 2012.
6. *Tsalapatas H., Heidmann O., Houstis E.* Game-Based Programming Towards Developing Algorithmic Thinking Skills in Primary Education // Scientific Bulletin of the „Petru Maior” University of Tîrgu Mureş, 2012.
7. *Kaleliog˘lu F.* A new way of teaching programming skills to K-12 students: Code.org // Computers in Human Behavior, 2015.

### PARALLEL PROGRAMMING TRAINING SYSTEM

*Schelkunov Andrey A.*

National Research University Higher School of Economics, 614070, Russia,  
would.you.kindly@yandex.ru

The work is devoted to the development of parallel algorithmic thinking among programmers. The paper describes one of the most effective methods of training on the example of a computer game-simulator. The concept of the game and the way the player interacts with the simulator are described. The reproductive method was chosen as a teaching method. The methods of increasing learning efficiency are described, the architecture of the system is given, each component of which is responsible for the implementation of these methods.

Keywords: parallel programming, algorithmic thinking, training system.

## **5. ИСТОРИЯ МАТЕМАТИКИ, МЕХАНИКИ И ИНФОРМАТИКИ**

## ИСТОРИЯ ЗАДАЧ И МЕТОДОВ МЕХАНИКИ ТВЕРДОГО ДЕФОРМИРУЕМОГО ТЕЛА

*Анащенко Максим Алексеевич*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, Malyby.anashenko@yandex.ru

Доклад посвящён истокам задач и методов механики твёрдого деформируемого тела (МТДТ) в работах математиков и механиков XVII-XIX веков. Затронуты важнейшие первые шаги по созданию математической теории упругости. В частности, описываются задачи, сформулированные Г. Галилеем, Р. Гуком, А. Параном, и их современниками. Обсуждаются математические методы постановки и решения первых задач МТДТ в творчестве Л. Эйлера, Ж. Л. Даламбера, Ж.Л. Лагранжа и профессоров Парижской политехнической школы. Внимание многих ученых XIX века привлекли задачи колебания струн, стержней, пластин, оболочек. Интерес к этим задачам был связан не только с потребностями сугубо инженерных расчетов, но и с необходимостью создания общей теории исследования, задач такого рода. Также обсуждается идея преемственности, последовательного уточнения и усложнения предлагаемых физико-математических моделей.

Ключевые слова: История, механика деформируемого твёрдого тела, МТДТ, задачи, методы.

Первые попытки точного математического описания деформаций тел обычно связывают с именем Г. Галилея. В его знаменитом трактате «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению» (1638) излагаются основы сопротивления материалов и строительной механики. В частности, в первых двух диалогах-беседах он рассуждает о способности сплошных и полых балок сопротивляться их изгибу. Описывая свойства бруса, лежащего на двух опорах, автор утверждает, что его изгибная прочность пропорциональна площади поперечного сечения бруса и не зависит от его длины. Изучая сопротивление изгибу консольной балки, он ошибочно считает, что сопротивление должно равномерно распределяться по её поперечному сечению.

Следующий важный шаг в открытии законов деформаций тел сделал Роберт Гук. В его знаменитом труде «О восстановительной способности или об упругости, объясняющей силу упругих тел» (1678), был сформулирован вывод о пропорциональности удлинений упругих тел (пружин, струн, стержней) приложенным к ним силам («закон Гука»). Позднее этот закон подтвердил Эдм Мариотт. В 17 – 18 веках большинство задач из области сопротивления материалов решались с использованием закона Гука и некоторых дополнительных гипотез.

Особую ценность представляют работы о малых колебаниях натянутой однородной струны. Дифференциальное уравнение в частных производных этой задачи первым записал Даламбер. Он же (в 1747) получил решение в виде суммы двух произвольных функций, определяемых по начальной форме струны и начальному распределению скоростей её точек. Эйлер, развивая метод Даламбера (метод характеристик), показал (в 1748) свой графический способ построения формы струны в любой момент времени по начальным условиям. Д. Бернулли в 1753 году представлял решение уравнения (колебания струны) в виде



тригонометрического ряда (в виде суммы бесконечного числа главных синусоидальных колебаний – «принцип суперпозиции»).

Это были первые шаги в создании математической физики как теории (постановки, классификации) и решения задач уравнений в частных производных. Далее (после 1760) последовали более сложные задачи о колебаниях мембран, пластин, воздуха в трубах и другие.

В сентябре 1822 года Парижской академии наук был представлен мемуары Огюстена Коши «Исследование равновесия и внутреннего движения твёрдых тел и жидкостей, упругих и неупругих» (опубликован в 1823), в котором предлагался континуальный подход к механике сплошной среды. Автор ввел понятие напряжения на площадке, представил его через три составляющие по осям координат и рассматривал напряженное состояние в точке упругого тела. Рассматривая силы, действующие на элементарный объем, он получил уравнения равновесия сплошной среды в напряжениях, ввел главные деформации, эллипсоид деформаций, утверждал, что направления главных деформаций и напряжений совпадают, а их величины связаны пропорциональной зависимостью.

В 1828 году Коши опубликовал ещё две статьи по той же тематике. В первой он ввёл шесть компонент будущего тензора деформаций (ранее они встречались в гидромеханике Эйлера и Лагранжа). Их он выражал через производные от трех проекций вектора смещения для произвольной деформируемой среды. Здесь же получены выражения для удлинения любого линейного элемента и вводятся главные удлинения по трём взаимно перпендикулярным направлениям главных осей деформации. Во второй из статей Коши изучает будущий тензор напряжений, используя молекулярную модель упругого тела. Следует иметь в виду, что терминов «вектор» и «тензор» тогда ещё не было, но очевидно, что их будущее появление было подготовлено использованием новых понятий, введённых Коши.

В 1829 году Пуассон привел 36 коэффициентов, определяющих зависимость шести компонент напряжения от шести компонент деформации. Через 10 лет (в 1839) Грин, на основе принципов Даламбера и виртуальных скоростей, почерпнутых им из «Аналитической механики» Лагранжа, и введя понятие упругого потенциала, получил зависимости между деформациями и напряжениями для упругого анизотропного тела. В его уравнениях, полученных из условия существования полного дифференциала упругого потенциала (как следствия невозможности «перпетуум мобиле»), число независимых модулей упругости в общем случае равнялось 21 (в случае изотропного упругого тела остаются только два независимых модуля упругости и получаются уравнения, приведенные в первом мемуаре Коши).

В 1845 году свой вывод уравнений теории упругости, используя континуальный подход (Эйлера – Коши) и гипотезу о линейной зависимости компонент напряжений от компонент деформаций, дал Дж.Г. Стокс. Для изотропного тела он получил две упругие постоянные. Далее вопрос о количестве этих констант обсуждался в работах самого Пуассона, Ламе («Лекции по математической теории упругости твёрдых тел», 1852), У. Томсона, Сен-Венана, М. Борна. В публикации 1858 года Г. Кирхгоф рассматривал проблему существования и единственности решения задач теории упругости.

В 1828 – 1829 годах Коши и Пуассон заложили основы теории изгиба тонких стержней, Коши получил приближённые формулы для кручения тонких прямоугольных стержней, создав предпосылки для построения Адемаром Сен-Венаном в 1840 – 1850 –х годах общей теории изгиба и кручения призматических стержней. Работы Сен-Венана были продолжены его учеником Жозефом Буссинеском (J. V. Boussinesq; 1842 – 1929) - автором большого трактата «Использование потенциалов в изучении равновесия и движения упругих тел» (1885), в котором рассмотрен целый ряд задач для бесконечных тел, на поверхности или внутри малой области которых заданы силы или смещения.

Внимание многих учёных 19 века привлекли задачи колебаний струн, стержней, пластин, оболочек, распространения колебаний в упругой среде. Интерес к этим задачам был связан не только с потребностями сугубо инженерных расчетов, но и с попытками построения механической теории эфира, который по гипотезам той эпохи ассоциировался с упругим телом. В 1828 году Пуассон показал, что в упругой среде возмущение распространяется посредством волн двух видов: поперечных и продольных. В поперечных волнах плотность среды остается постоянной, и происходит только смещение одних частей среды относительно других, а в продольных распространяется волна сжатия — разрежения среды.

Наряду с задачами колебаний тел, внимание многих ученых привлекли и задачи, связанные с исследованием удара твёрдых тел. Одна из первых публикаций в этом направлении появилась в 1807 году («Курс лекций по натуральной философии и механических искусств»). Её автором был Т. Юнг. Далее исследования действия ударной нагрузки занимались Стокс, Сен-Венан (поперечный и продольный удар стержней, 1883), Буссинеск (продольный удар тяжелого тела по стержню), Югонио и Герц. Рассматривая соударение двух упругих шаров, Герц вычислил продолжительность удара и возникающие напряжения.

Важным событием 19 века стало возникновение нового математического аппарата и соответствующей символики. В современной механике широко используются математические понятия вектора и тензора, появление которых было неразрывно связано с развитием теоретической механики и механики сплошных сред. Такие понятия как скорость, ускорение, сила, момент силы характеризуются не только численной величиной (числом), точкой приложения, но и направлением. Использование для их описания векторов (отрезков прямой, имеющих точку приложения и направление) представляется абсолютно естественным. Возникнув в недрах механики, понятие вектора далее стало полноценным математическим объектом векторного анализа, созданного трудами У. Гамильтона, Г.Г. Грассмана (1809 - 1877), Дж.У. Гиббса (1839 – 1903), О. Хевисайда (1850 – 1925), У.К. Клиффорда (1845 – 1879).

Вторым важнейшим математическим понятием, ставшим неотъемлемой частью современной механики, является понятие тензора. Гамильтон использовал термин «тензор» для выражения длины вектора. Однако к началу 20 века этот термин по инициативе немецкого физика и механика Вольдемара Фойгта (1850 - 1919) приобрёл совершенно иной смысл. В 1898 – 1903 годах Фойгт использовал термин «тензор» (от латинского *tensus* – напряжённый, растягиваемый) для описания механических напряжений.

Понятие тензора возникло как адаптация применительно к задачам механики понятия «матрицы», введённого Дж. Сильвестром в 1850 году для обозначения некоторой прямоугольной таблицы элементов. Развитие теории матриц, создававшейся для исследования систем линейных алгебраических уравнений, а также «систем с индексами» (алгебраических квадратичных форм, дифференциальных квадратичных форм в геометрии) началось ещё в середине 18 века. Примерами «систем с индексами» стали и теоретические работы 19 века по гидромеханике и механике твёрдого деформируемого тела.

Новое исчисление, в котором векторы и тензоры имеют не только математические свойства, но и определённый физический смысл, нашло применение во многих разделах физико-математических наук (в теории относительности, теории римановых пространств, кристаллофизике, электродинамике, дифференциальной геометрии, аналитической механике и механике сплошной среды). Но, как и в случае с МЖГ, ещё более важные достижения МТДТ были получены в 20 веке. Это было откликом на появление новых задач, новых материалов и новых методов экспериментального и математического исследования.

### **Библиографический список**

1. *Яковлев В.И.* Начала механики. М.-Ижевск: РХД, 2005, - 352 с.
2. *Яковлев В.И.* Из истории механики жидкости и газа 17 - 19 веков. / Вестник Пермского университета. Математика, Механика. Информатика. 2018. Вып.1 (40), с 98 - 108

### **HISTORY OF PROBLEMS AND METHODS OF MECHANICS OF A SOLID DEFORMABLE BODY.**

*Anaschenko Maxim A.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, malyby.anashenko@yandex.ru

The report is dedicated to the sources of the problems and methods of a Solid mechanics in the works of mathematicians and mechanics of the XVII-XIX centuries. The most important first steps to create a mathematical theory of linear elasticity is touched upon. In particular, a series of problems is presented and described by G. Galilei, R. Guk, A. Paran, and their contemporaries. Mathematical methods of setting and solving the first problems of solid mechanics are discussed which are in the works of L. Euler, J. L. d'Alembert, J.L. Lagrange and the professors of the Paris Polytechnic School. The problems of oscillation of strings, rods, plates, shells were attracted by attention of many scientists of the XIX century. Interest in these problems was associated not only with the needs of purely engineering calculations, but also with the need to create a general theory of research, problems of some kind. Also, the idea of continuity, consistent refinement and complication of the proposed physico-mathematical models is discussed.

Keywords: History, solid mechanics, MTDT, problems, methods.

**ВКЛАД МИХАЙЛО ВАСИЛЬЕВИЧА ЛОМОНОСОВА В МЕХАНИКУ**

*Ананьева Миляуша Сабитовна, Еремеева Юлия Дмитриевна*

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Сибирская, 24, m-ananeva@yandex.ru, eremyl@mail.ru

В статье представлены результаты исследования вклада первого отечественного естествоиспытателя Михайло Васильевича Ломоносова (1711–1765) в развитие механики. Михайло Васильевич был зачислен студентом университета при Петербургской академии наук в 1736 г. и в тот же год отправлен в Германию, где, обучаясь в Марбургском университете (1736–1739), получил основы знаний по механике. Он слушал лекции Христиана фон Вольфа (1679–1754) по математике, физике, механике, логике и астрономии, дополнительно брал уроки арифметики, геометрии и тригонометрии. В области механики, хорошо зная классическую механику, Ломоносов пытался сформулировать наиболее общие законы механического движения. Ученый стремился расширить применение законов механики в физике и химии, а также открыть еще неизвестные закономерности – общие для всего многообразия механических форм движения. Михайло Васильевич Ломоносов внес существенный вклад в развитие всего естествознания. Он исследовал атмосферное электричество, стал создателем физической и математической химии, конструктором оптических приборов, а введенный им «всеобщий закон сохранения», распространенный на законы классической механики, нашел применение во многих естественнонаучных дисциплинах.

Ключевые слова: механика, естествознание, закон сохранения.

Механика – научная дисциплина, изучающая движение материальных тел и взаимодействие между ними во времени и пространстве. Ее долгая история с древнегреческих времен богата именами ученых, их открытиями и изобретениями. В статье представлены результаты исследования вклада первого отечественного естествоиспытателя Михайло Васильевича Ломоносова в развитие механики.

Основоположителем механики считается древнегреческий математик и инженер – Архимед (287–212 до н.э.). В истории механики принято выделять периоды [2]:

- начальный (до XVII в.) – время поисков решения конкретных практических задач, стремления к описанию и объяснению наблюдаемых явлений;
- переходный (XVII в. – середина XVIII в.), когда расширялся круг решаемых задач, строились первые механико-математические теории о движении и равновесии тел;
- аналитический (с середины XVIII в.) – период создания математического аппарата механики на основе математического анализа и принципов движения, установленных физических законов; период разработки *теоретической* механики из запросов техники (Рис. 1).

Главный теоретик классической механики – английский ученый Исаак Ньютон (1642–1727). В его фундаментальном труде «Математические начала натуральной философии» (1687) изложен закон всемирного тяготения и основные законы механики, называемой классической. О себе Ньютон говорил, что он видит дальше других, потому что

стоит на плечах гигантов: Галилео Галилея (1564–1642), Иоганна Кеплера (1571–1630), Рене Декарта (1596–1650) и Христиана Гюйгенса (1629–1695).

### ХРОНОЛОГИЯ ИСТОРИИ МЕХАНИКИ В СРАВНЕНИИ

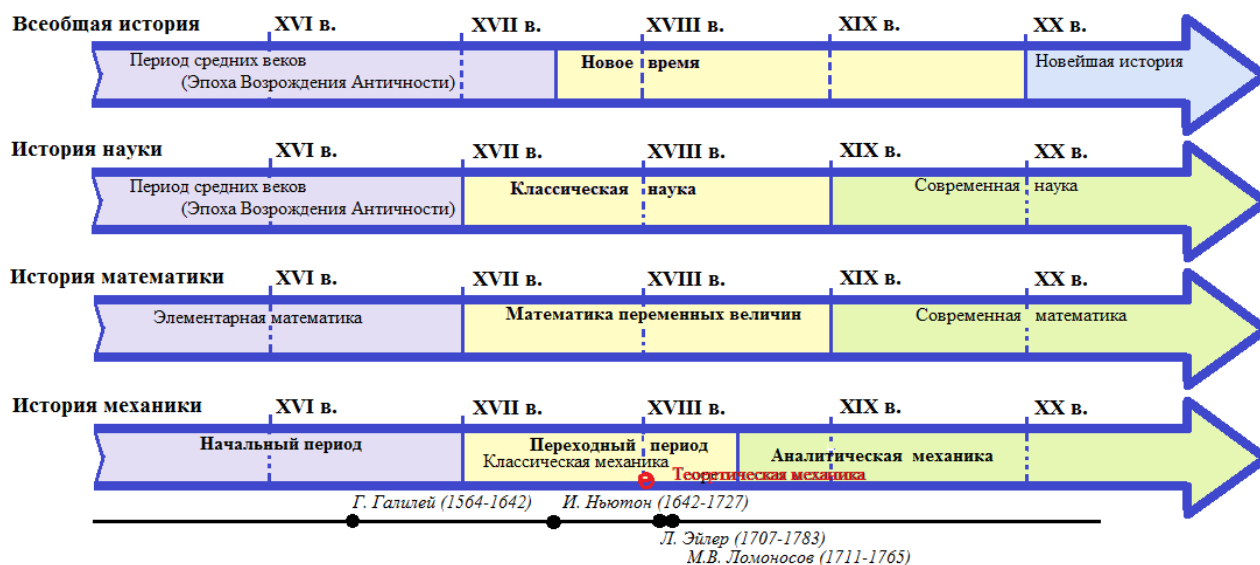


Рис. 1. Хронологическая линейка

К основным понятиям дисциплины относятся: *материальная точка* (геометрическая точка, обладающая массой), *абсолютно твердое тело* (тело, у которого расстояние между любыми двумя точками всегда остается неизменным), *свободное твердое тело* (тело, движение которого не ограничено другими телами), *сила* (мера механического действия одного тела на другое). Фундамент дисциплины составляют законы механического движения, соответствующие наблюдениям и опыту человечества. Основные принципы движения, принятые в классической механике, введенные Ньютоном и его предшественниками:

- *закон инерции*: материальная точка, изолированная от действия других материальных тел, сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения;
- *основной закон*: сила, действующая на материальную точку, вызывает ускорение, пропорциональное модулю этой силы и направленное вдоль линии ее действия;
- *закон равенства действия и противодействия*: силы, с которыми действуют друг на друга две материальные точки, равны по модулю и направлены по прямой, соединяющей эти точки, в противоположные стороны;
- *независимость действия сил*: если на материальную точку действует система сил, то ускорение точки равно геометрической сумме тех ускорений, которые точка имела бы при действии каждой силы в отдельности [3];
- *пропорциональность силы тяжести* массе тела (или в данной точке пространства – весу) независимо от его природы.

Значительный вклад в развитие механики внес ученый Леонард Эйлер (1707–1783), автор множества научных работ по математическому анализу, дифференциальной геометрии, приближенным вычислениям, небесной механике, математической физике, оптике, баллистике, кораблестроению. В 1727 г. он прибыл из Швейцарии в Петербургскую академию наук. В 1731–1741 гг. служил в должности профессора физики, в 1736 г. было издано двухтомное сочинение «Механика, или наука о движении, изложенная аналитически», ставшее впоследствии популярным. В 1766 г. после длительного пребывания в Берлине вернулся в Россию и продолжил работать.



**Рис. 2 М.В. Ломоносов**

Михайло Васильевич Ломоносов (1711–1765) (Рис. 2) был зачислен студентом университета при Петербургской академии наук в 1736 г. и в тот же год отправлен в Германию, где, обучаясь в Марбургском университете (1736–1739), получил основы знаний по механике. Он слушал лекции Христиана фон Вольфа (1679–1754) по математике, физике, механике, логике и астрономии, дополнительно брал уроки арифметики, геометрии и тригонометрии.

Вольф отзывался о своем студенте: «Молодой человек с прекрасными способностями Михаил Ломоносов со времени своего прибытия в Марбург прилежно посещал мои лекции математики и философии, а преимущественно физики и с особенною любовью старался приобретать основательные познания. Нисколько не сомневаюсь, что если он с таким же прилежанием будет продолжать свои занятия, то он со временем, по возвращении в отечество, может принести пользу государству, чего от души и желаю» [3].

После окончания Марбургского университета Ломоносов обучался горному делу. В годы отсутствия в Санкт–Петербурге Л. Эйлера (1741–1766) вел с ним активную переписку.

В 1746 г. вышла в свет «Экспериментальная физика» Х. Вольфа, переведенная Ломоносовым на русский язык. В предисловии к учебному пособию написано (Рис. 3): «Сверх сего принужден я был искать слов для наименования некоторых физических инструментов, действий и натуральных вещей, которые хотя сперва покажутся несколько странны, однако надеюсь, что они со временем чрез употребление знакомее будут» [1]. Так, благодаря М.В. Ломоносову, в русских учебниках по математике и физике появились термины: движение, диаметр, квадрат, минус, опыт, ось, полюс, предмет, пропорция, равновесие, радиус, сферический, формула, чертеж, явление и др.

ВОЛФИАНСКАЯ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ  
**Ф И З И К А**  
съ нѣмецкаго подлинника  
на латинскомъ языкѣ  
СОКРАЩЕННАЯ.  
съ котораго  
НА РОССИЙСКІЙ ЯЗЫКЪ  
ПЕРЕВЕЛЪ  
МИХАИЛО ДОМОНОВЪ  
Императорской Академіи Наукъ Членъ  
и Химіи Профессоръ.

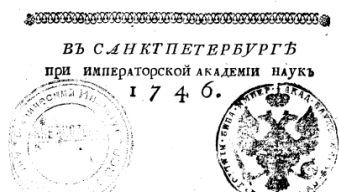


Рис.3. Вольфианская экспериментальная физика

В области физики Ломоносов занимался большей частью вопросами атмосферного электричества, земного тяготения, теории упругости, теории газов, теории теплоты, в механике получил немного результатов. В разное время появились его работы: «Заметки о тяжести тел», «Об отношении массы и веса», «Об отношении количества материи и веса» и др.

Ученый применял математические методы в физике («Теория электричества, изложенная математически», 1756) и химии («Элементы математической химии», 1741). Он считал, что все изменения тел, основу которых составляют элементы – атомы, которые, соединяясь между собой, образуют корпускулы – молекулы, происходят посредством движения [2].

В области механики, хорошо зная классическую механику, Ломоносов пытался сформулировать наиболее общие законы механического движения. Ученый стремился расширить применение законов механики в физике и химии, а также открыть еще неизвестные закономерности – общие для всего многообразия механических форм движения.

Для истории механики наибольший интерес представляют факты: относительно одного из принципов движения и закона сохранения. Ломоносов не был во всем согласен с Ньютоном: в 1748 г. он выступил против утверждения, что сила тяжести (вес тела) пропорционален его массе. Вывод Ньютона основан на следующем эксперименте: в дверном проеме комнаты были подвешены два маятника одинаковой длины, изготовленных из разных материалов. Оказалось, что маятники всегда колебались изохронно. Это и означало справедливость физического закона.

Михайло Васильевич считал, что трудность существует в объяснении факта сохранения веса. В 1755 г. он даже предложил выдвинуть задачу экспериментальной проверки гипотезы Ньютона на премию Академии наук. В научных кругах такая постановка задачи встретила возражения, не поддержал даже Л. Эйлер, который обычно был на его стороне [2].

Ломоносов, по-видимому, был уверен, что «всеобщий закон сохранения» одинаков и для мельчайших частиц тел, и для самих тел. Он неоднократно проделывал химические опыты: сжигал металл в закрытых колбах, и пришел к выводу, что количество вещества не увеличивается и не уменьшается, а всегда остается одним и тем же. Он считал, что в силу всеобщности закон должен быть распространен и на механическое движение.

Первые заметки о законе сохранения появились у Ломоносова в «Размышлениях о причине теплоты и холода» (1747), формулировка – в письме к Эйлеру от 5 июля 1748 г. [3]: «...все встречающиеся в природе изменения происходят так, что если к чему-либо нечто прибавилось, то это отнимается у чего-то другого. Так, сколько материи прибавляется к какому-либо телу, столько же теряется у другого, сколько часов я затрачиваю на сон,

{ П Р Е Д И С Л О В І Е . }

переведена на Россійскій языкѣ, чтобы поней показывать и толковать физическіе опыты; и потому она на Латинскомъ языкѣ весьма коротко и пѣсно писана, чтобы, для удобнѣйшаго употребленія ученика, вмѣстѣ съ ней при книгѣ нѣмецкѣхъ, какъ уже выше упомянуто. Припоможетъ, свершителѣ съхъ опытовъ въ нѣкоторыхъ нѣмецкѣхъ писанъ весьма неясно, которыя въ Россійскомъ переводѣ во силѣ моей стараясь я изобразить яснѣе. Сверхъ того принужденъ я былъ искать словъ для наименованія нѣкоторыхъ физическихъ инструментовъ, дѣйствицъ и натуральныхъ вещей; которыя хотя сперва показались нѣсколько странныя, однако надѣюсь, что они со временемъ чрезъ употребленіе знакомѣе будутъ.

Окончая съе оубъ искреннаго сердца желаю, чтобы по мѣрѣ обширнаго сего государства высокія науки въ немѣ распространились, и чтобы въ сынахъ Россійскѣхъ къ онымъ охота и ревность равнообразно умножилась.



СОКРАЩЕННАЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ  
**ФИЗИКА.**

ВСТУПЛЕНІЕ.

§. 1.

Кспериментальная Физика естѣ наука о всемъ томъ, что чрезъ опыты познашь можно.

§. 2.

Сю науку употребляютъ для познанія натуры и художествъ, къ постановленію новыхъ, или къ изслѣдованію старыхъ изобрѣшеній.

А

§. 3.

столько же отнимаю от бодрствования. Так как это всеобщий закон природы, то он распространяется и на правила движения: тело, которое своим толчком возбуждает другое к движению, столько же теряет от своего движения, сколько сообщает другому, им двинутому».

В 1758 г. в докладе «Об отношении количества материи и веса» Ломоносов сделал вывод: «тяжесть тел не пропорциональна количеству вещества» (при химических реакциях). Мерой количества вещества была масса (термин «материя» стал употребляться в конце XIX в. и означал вещество, имеющее вес). В истории закона сохранения энергии и массы Ломоносову по праву принадлежит первое место [4]. Заблуждения Ломоносова относительно принципа Ньютона и закона сохранения силы отчасти можно объяснить отсутствием в те времена одной общепринятой количественной меры силы. Для описания механического движения использовались: предложенная Р. Декартом  $mv$  и выведенная Г.В. Лейбницем  $mv^2$

В 1760 г. в диссертации «Рассуждение о твердости и жидкости тел» Ломоносов впервые, по мнению П.Л. Капицы [2], сформулировал частный случай «всеобщего закона сохранения» – закон сохранения силы: «Сей всеобщий естественный закон простирается и в самые правила движения; ибо тело, движущее своею силою другое, столько же оные у себя теряет, сколько сообщает другому, которое от него движение получает».

Михайло Васильевич Ломоносов внес существенный вклад в развитие всего естествознания. Он исследовал атмосферное электричество, стал создателем физической и математической химии, конструктором оптических приборов, а введенный им «всеобщий закон сохранения», распространенный на законы классической механики, нашел применение во многих естественнонаучных дисциплинах.

#### Библиографический список

1. Вольфианская экспериментальная физика с немецкого подлинника на латинском языке сокращенная / Х. Вольф; пер. М.В. Ломоносова. – СПб., 1846. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://books.e-heritage.ru/book/10079728>.
2. Капица П.Л. Ломоносов и мировая наука // Успехи физических наук. – М.: Физический ин-т имени П.Н. Лебедева РАН, 1965. – Т. 87. – Вып. 1. – С. 155-168.
3. Кудрявцев П.С. Курс истории физики. – М.: Просвещение, 1982.
4. Лупачев Ю.В. Творческие удачи и отдельные просчеты великого естествоиспытателя // История науки и техники. – 2008. – № 9. – С. 39-47.



## THE CONTRIBUTION OF MIKHAIL LOMONOSOV IN THE MECHANICS

*Milyausha Ananyeva S., Eremeeva Julia D.*

Perm State Humanitarian Pedagogical University, 24, Sibirskaya st., Perm, 614990, Russia,  
m-ananeva@yandex.ru, eremyl@mail.ru.

The article presents the results of the study of the contribution of the first national naturalist Mikhail Lomonosov (1711-1765) in the development of mechanics. Mikhail was enrolled as a student of the University of St. Petersburg Academy of Sciences in 1736 and in the same year he was sent to Germany, where, studying at the University of Marburg (1736-1739), received the basics of mechanics. He listened to Christian von Wolff's lectures (1679-1754) in mathematics, physics, mechanics, logic and astronomy, took additional lessons in arithmetic, geometry and trigonometry. In the field of mechanics, knowing classical mechanics, Lomonosov tried to formulate the most General laws of mechanical motion. The scientist sought to expand the application of the laws of mechanics in physics and chemistry, as well as to discover more unknown patterns – common to the diversity of mechanical forms of motion. Mikhail Lomonosov made a significant contribution to the development of all natural Sciences. He investigated atmospheric electricity, became the Creator of the physical and mathematical chemistry, designer of optical instruments, and introduced them to «the universal law of conservation», common to the laws of classical mechanics, had found application in many scientific disciplines.

Key words: mechanics, natural science, conservation law.

## О ВКЛАДЕ В МЕХАНИКУ АЛЕКСИ КЛЕРО

*Назаренкова Екатерина Вадимовна, Яковлев Вадим Иванович*

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия,  
г. Пермь, ул. Букирева, 15, ekaterina.nazarenkova@yandex.ru, iakovlev@psu.ru

Механика является одной из древнейших наук, которая возникала и развивалась под влиянием запросов общественной практики. Основные принципы, законы, теории механики, которые используются в настоящее время, появились в XVII - XVIII веках. В плеяде известных французских ученых первой половины XVIII в. одним из самых знаменитых был математик, механик и астроном, иностранный член Парижской академии наук Алексис Клод Клеро, оставивший яркий след в математике и механике своего времени. Клеро решил ряд важных задач небесной механики, астрономии, гидростатики, теории дифференциальных уравнений, математического анализа, дифференциальной геометрии и многие другие. В докладе приводится краткая биография учёного и обзор некоторых его важнейших публикаций по механике.

Ключевые слова: учёный, задача, механика.



Рис.2. А. Клеро

Алексис Клеро (Рис. 2) родился 13 мая 1713 г. в Париже. Он с детства проявлял интерес к механике и математике, и уже в 12 лет написал свою первую работу, а в 18 лет король Людовик XV утвердил его адъюнктом-механиком Парижской академии наук. По приезду в г. Базель, Алексис познакомился с семьей Бернулли и вел научную переписку с И. Бернулли и его сыновьями Алексис Клеро был спокойным, доброжелательным и уравновешенным человеком, приятным собеседником. Умер он 17 мая 1765 г. в расцвете научной карьеры.

Основные работы Алексис Клеро опубликовал в «Мемуарах» Парижской академии наук.

В работе «Решение некоторых проблем динамики» (1736) Клеро решал задачи о движении связки двух точек в вертикальной или горизонтальной плоскостях. Учитывалось, что траектория одной из точек или центр тяжести считается заданным, нужно определить траектории движения других точек. Для задачи двойного маятника Клеро вывел:

$$Mv \cdot v + \frac{Pv \cdot v dr^2}{ds^2} = 2g(z-b)P + 2g(z-c)M,$$

где  $M, P$  – массы тел,  $v$  – скорость точки  $M$ ,  $z - b$  и  $z - c$  – вертикальные перемещения точек  $P$  и  $M$ .

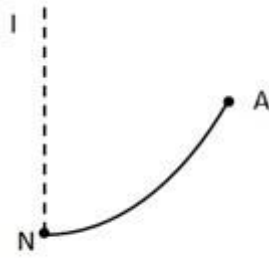


Рис. 1

В 1740 г. Клеро опубликовал работу, в которой он решал задачу об определении кривой  $AN$  (Рис. 1), по которой точка  $N$ , двигаясь со скоростью  $v$ , равной скорости падения с высоты  $IN$  ( $IN = NA$ ), достигнет точки  $A$  (считается, что сопротивление среды пропорционально квадрату скорости).

Очень важными проблемами в XVIII в. были задачи небесной механики. В частности, оставался открытым вопрос о форме Земли (о том, сплющена ли Земля, или вытянута по оси вращения). Клеро, занявшись решением этой задачи, отправился в экспедицию (под руководством Мопертюи). По итогам экспедиции он опубликовал в 1743 г. книгу «Теория фигуры Земли, извлеченная из принципов гидростатики», в которой успешно решил эту задачу на основе астрономических наблюдений и закона всемирного тяготения. Далее, в работах «Об орбите Луны в системе Ньютона» (1743), «О системе мира по принципам всемирного тяготения» (1745), он продолжил свои исследования. Во второй из названных работ Клеро предложил добавить к силе притяжения, обратно пропорциональной квадрату расстояния между телами, слагаемое, обратно пропорциональное 3-й или 4-й степени расстояния.

В 1751 г. вышла книга Клеро «Теория Луны, выведенная из единственного начала притяжения, обратно пропорционального квадратам расстояний», в которой он нашел способ приближенного решения «задачи трех сил». В ней он уточнил свои прежние результаты, которые с большой точностью совпали с последними наблюдениями.

Алекси Клод Клеро, как один из создателей динамической теории относительного движения, небесной механики, теории дифференциальных уравнений, аналитической и дифференциальной геометрии, внес важный вклад в развитие механики первой половины XVIII в.

### Библиографический список

1. Идельсон Н. И. Этюды по истории небесной механики. М.: Наука, 1975.
2. Яковлев В. И. Начала механики. 3-е изд., М.: Ижевск, РХД, 2005.

### ABOUT THE CONTRIBUTION TO ALEXI CLAIRAUT'S MECHANICS

*Nazarenkova Ekaterina V, Yakovlev Vadim I.*

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, ekaterina.nazarenkova@yandex.ru,  
iakovlev@psu.ru

Mechanics is one of the oldest sciences, which arose and developed under the influence of the demands of social practice. The basic principles, laws, theories of mechanics that we use now have been developed and found in the VXIII century. In the pleiad of famous French scientists of the first half of the 18th century, one of the most famous was the mathematician, mechanic and astronomer, Alexis Claude Clairreau, a foreign honorary member of the Paris Academy of Sciences, who left a bright mark in the mathematics and mechanics of his time. He solved a number of important problems in celestial mechanics, astronomy, hydrostatics, the theory of differential equations, mathematical analysis, differential geometry, and many others. The report provides a brief biography of the scientist and an overview of some of his most important publications in mechanics.

Key words: scientist, task, mechanics.

*Научное издание*

**МАТЕМАТИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ – 2018**

Материалы Всероссийской научно-практической конференции  
молодых ученых с международным участием  
(г. Пермь, 14–19 мая 2018 г.)

Издается в авторской редакции  
Техническая подготовка и обработка материалов:  
*И. В. Рожков, Н. С. Лашов*

---

Подписано к использованию 07.05.2018  
Объем данных 8.9 Мб. Тираж 100 экз.

---

Экземпляр электронного издания включает в себя  
1 CD-R, 1 пластиковый бокс, 1 вкладыш в пластиковый бокс

Издательский центр  
Пермского государственного  
национального исследовательского университета.  
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

ОРГАНИЗАТОРЫ:



Министерство  
образования  
и науки  
Пермского края

СПОНСОРЫ  
И ПАРТНЕРЫ  
ФОРУМА:



Министерство  
информационного  
развития  
и связи