

НАУКА
и глобальные вызовы
XXI века

МАТЕМАТИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Пермь, 2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

МАТЕМАТИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ – 2020

Материалы
Всероссийской научно-практической конференции
молодых ученых с международным участием

(г. Пермь, 12–14 октября 2020 г.)



Пермь 2020

УДК 51: 001
ББК 22.1: 1
М34

Математика и междисциплинарные исследования – 2020:
М34 [Электронный ресурс] : материалы Всероссийской науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием (г. Пермь, 12–14 октября 2020 г.) / гл. ред. А. П. Шкарапута ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2020. – 10,8 Мб ; 343 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/mmi-2020.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3547-4

В сборнике представлены статьи участников Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Математика и междисциплинарные исследования – 2020». 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 было отобрано шестьдесят две статьи. 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 оргкомитета конференции

Редакционная коллегия

А.П. Шкарапута (гл. ред.), А.О. Алексеев, В.Н. Аптуков, В.О. Арбузов, Н.Б. Асташина, Ю.В. Бидуля, Д.С. Голдобин, А.Ю. Городилов, Е.Ю. Данилова, К.В. Доможирова, Е.Б. Замятина, И.В. Зорин, А.О. Иванцов, А.А. Каменских, А.Б. Крашенинников, Д.С. Курушин, В.В. Ланин, П.В. Максимов, Н.А. Медведева, С.В. Наумов, Е.Н. Остапенко, О.И. Перескокова, В.М. Пестренин, М.А. Плаксин, И.С. Постановов, С.В. Русаков, О.Л. Русакова, К.В. Рябинин, Т.Н. Соловьева, А.О. Сухов, Е.Н. Харебова, Е.К. Хеннер, В.В. Чичагов, С.И. Чуприна, Ю.А. Шарапов, К.Г. Шварц

ISBN 978-5-7944-3547-4

© ПГНИУ, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Андреев А.А., Дацун Н.Н.

АНАЛИЗ ОПТИМИЗАЦИЙ ЭТАПОВ ТРАНСЛЯЦИИ ЯЗЫКА
ПРОГРАММИРОВАНИЯ FORE11

Ахметьянова А.И.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИКИ
ЦИКЛИЧЕСКИХ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ16

Белозерова Е.С., Данилова Е.Ю.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ
ЗАДАВАЕМЫХ ШАБЛОНОВ21

Волков И.И.

ИНТЕРАКТИВНЫЙ МУЛЬТИЯЗЫЧНЫЙ РЕДАКТОР
ДЛЯ «ГРАМОТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ»26

Гостева Е.А., Ланин В.В.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ
ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТАНДАРТОВ30

Коротаев В.А., Курушин Д.С.

ПОЛУЧЕНИЕ КОНТУРОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ДЕТЕКТОРА КЕННИ И ПОСЛЕДУЮЩИМ РИСОВАНИЕМ
С ПОМОЩЬЮ МАНИПУЛЯТОРА КУКА38

Лизунов М.О.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ КОГНИТИВНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ
ГРАФОВ В ТРЕХМЕРНОМ ВИДЕ44

Могильников А.В.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНЫХ
ВИРТУАЛЬНЫХ ПРАКТИКУМОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА» НА ОСНОВЕ
СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ50

Рябинин К.В., Колесник М.А.

СИСТЕМА НАУЧНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ НА КРИСТАЛЛЕ
ДЛЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ИНТЕРАКТИВНЫХ МУЗЕЙНЫХ ЭКСПОНАТОВ ...57

Толов Я.Ф.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КРОСС-ПАРАМЕТРИЗАЦИИ
ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ПЕРЕХОДОВ МЕЖДУ ДВУМЯ
ПРОИЗВОЛЬНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ62

Хайдар И.А., Удовиченко С.Ю.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ
В БИОМОРФНОМ НЕЙРОПРОЦЕССОРЕ69

Черепанов К.А., Шипулина М.П.

«СОЦИАЛЬНЫЙ НАВИГАТОР» ДЛЯ МОЛОДОГО ЖУРНАЛИСТА:
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕСУРСА ...74

Шукшина М.И., Дацун Н.Н.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЭТАПОВ
СИСТЕМАТИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛИТЕРАТУРЫ
В СИСТЕМЕ VIBREADER78

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Бекмансуров М.Р., Бояршинова И.Н.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ
ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ.....84

Бояршинов Д.А., Сметанников О.Ю.

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ
ПЬЕЗОЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ОПТОВОЛОКОННОГО
ДАТЧИКА В УСЛОВИЯХ ГАРМОНИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ 88

Кротких А.А., Максимов П.В.

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ
В РАМКАХ МЕХАНИКИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТВЁРДЫХ ТЕЛ
И ПРЕДЛОЖЕНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ 93

Кузьмичева М.Д., Шилов М.А.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫХ ОБРАЗЦОВ
МЕТОДОМ ФОТОУПРУГОСТИ 97

Лобанова В.И., Каменских А.А., Адамов А.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДВУХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ КОНФИГУРАЦИЙ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ	102
Лопырев В.А., Шилов М.А. СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ДИСКА С РАЗЛИЧНЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПРОКЛАДКАМИ ТОРМОЗНОЙ КОЛОДКИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ABAQUS	107
Мальцев А.С., Максимов П.В. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛАТИКАХ ПРИ КЛЕЕВОМ И СВАРОЧНОМ СОЕДИНЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ МАЯТНИКОВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА	112
Носов Ю.О., Каменских А.А., Адамов А.А. О ДЕФОРМИРОВАНИИ ПЛОСКОГО АНТИФРИКЦИОННОГО СЛОЯ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА	116
Панькова А.П., Каменских А.А., Адамов А.А. ДЕФОРМИРОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННОГО СЛОЯ СКОЛЬЖЕНИЯ ОПОРНОЙ ЧАСТИ ИЗ РАЗНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОЗИТОВ	120
Фетисов К.В., Максимов П.В. ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРОНШТЕЙНА ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПОД АДДИТИВНУЮ ТЕХНОЛОГИЮ ИЗГОТОВЛЕНИЯ	124

МЕХАНИКА СПЛОШНЫХ СРЕД

Брюхова К.С., Пещеренко С.Н. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСЕВЫХ НАСОСОВ НА ВОДЕ ВО ВСЕМ ДИАПАЗОНЕ ПОДАЧ	130
Булатова Е.Г., Синер А.А. ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ РАСЧЕТЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ВОКРУГ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ	135
Гизатуллин Р.Р., Пещеренко С.Н. ТЕПЛООБМЕННИК ДЛЯ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ ВРАЩЕНИЯ	139

Колчанова Е.А.

ВОЗБУЖДЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ КОНВЕКЦИИ В СЛОИСТОЙ СИСТЕМЕ
С ПОРИСТОЙ ЗОНОЙ ПРИ РАЗНЫХ УГЛАХ ОРИЕНТАЦИИ ОСИ
ВИБРАЦИИ В МИКРОГРАВИТАЦИИ 144

Павлов Д.А., Пещеренко С.Н.

МЕТОДИКА БЫСТРОГО РАСЧЕТА НЕФТЯНЫХ СТУПЕНЕЙ
НА ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ ВО ВСЕМ ДИАПАЗОНЕ ПОДАЧ 150

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Алексеев А.О.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ
В ВИДЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ 156

Левшинский В.В.

О МОДЕЛИ И МЕТОДЕ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ
В ДИАГНОСТИКЕ ВЕНОЗНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПО ДАННЫМ
МИКРОВОЛНОВОЙ РАДИОТЕРМОМЕТРИИ 161

Найданов И.В., Ланин В.В.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ 166

Снегирев А.С.

ПОДХОД К КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТЕКСТОВ ОПИСАНИЯ ВАКАНСИЙ
ДЛЯ АНАЛИЗА ТРЕБОВАНИЙ К СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ В ИТ 171

Чалова Е.И.

РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ ИГРЫ
..... 177

Якубов Р.М., Боганюк Ю.В., Воробьева М.С.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ОКРАСКИ
ТЕКСТОВ НА ОСНОВЕ СЛОВАРНОГО ПОДХОДА 183

ПРИКЛАДНАЯ ЛИНГВИСТИКА

Донина О.В., Сидоров К.А., Коротких А.Д., Пендюрина А.А.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ
СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ ПО ВАРИАНТУ ЯЗЫКА
И ЖАНРУ 189

Зухритдинов А.Н., Бидуля Ю.В.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ДЛЯ АСПЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО АНАЛИЗА МНЕНИЙ 194

Ломец М.В., Кретов А.А., Половинкин И.П.

АБСОЛЮТНОЕ И ОТНОСИТЕЛЬНОЕ «БОГАТСТВО СЛОВАРЯ»
НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВЕДЕНИЙ Л.Н. ТОЛСТОГО 200

Мукошеева Я.Ю.

ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО И ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРОВ
НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ НОМИНАЦИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО
ОБОРУДОВАНИЯ 204

Плохова А.Ю., Бидуля Ю.В.

АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОТЗЫВОВ ПАЦИЕНТОВ
О ПОБОЧНЫХ ЭФФЕКТАХ ЛЕКАРСТВ 210

МЕНЕДЖМЕНТ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭКОНОМИКЕ

Аксёнов А.А., Орлова Е.Д., Файзрахманов Р.А.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ
ЛОЖНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ МОДЕЛЕЙ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ 216

Андропова А.А.

КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО ФАКТОРОВ АУДИТОРИИ
МАЛЫХ ОБЪЕКТОВ КОММЕРЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ 222

Гарафутдинов Р.В.

ВЛИЯНИЕ «ДЛИНЫ» ПАМЯТИ НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИ ARFIMA 226

Гладких В.С.

ВКЛЮЧЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО БАЗИСНО-ИНДЕКСНОГО МЕТОДА
В БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ СТОИМОСТНОГО ИНЖИНИРИНГА 232

Катаева Т.А.

НЕАНОНИМНЫЙ СЛУЧАЙ ГОЛОСОВАНИЯ ПРИ СОГЛАСОВАНИИ
ИНТЕРЕСОВ АГЕНТОВ 237

Кылосова В.В., Носкова А.Р.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ДОСТОВЕРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ОТРАСЛИ И ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ 242

Пашенко Д.Э.

БИНАРНЫЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ДЕФОЛТА 247

Сафонов Н.И.

МЕХАНИЗМЫ СОГЛАСОВАНИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
УЧАСТНИКАМИ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ЭТАПЕ
СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНОВ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНО-
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ В МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ ··· 253

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ

Боков К.А., Бузмакова М.М.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРКОЛЯЦИИ К-МЕРОВ
НА КУБИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ····· 262

Гомзяков Б.И., Орехова Е.Н., Матановская Т.В.

УСТАНОВЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЦЕНКИ ФУНКЦИИ АОРТЫ,
СОННЫХ АРТЕРИЙ И ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА ····· 268

Дерюшева А.Ю., Пермякова А.В.

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ИНФЕКЦИИ,
ВЫЗВАННОЙ ВИРУСОМ ЭПШТЕЙНА-БАРР, У ДЕТЕЙ····· 274

Дмитрюк А.Ю.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕРВЕОБРАЗНОГО ДВИЖЕНИЯ ГИБКОГО РОБОТА
····· 280

Кротких А.А., Максимов П.В.

ПОСТАНОВКА ОБОБЩЁННОГО ЖИДКОСТНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО
АЛГОРИТМА И ОЦЕНКА ЕГО ПРИМЕНИМОСТИ В РАМКАХ РЕШЕНИЯ
ЗАДАЧИ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ····· 285

Лобанова В.И., Каменских А.А.

ВЛИЯНИЕ РАДИУСА СКРУГЛЕНИЯ КАНАВКИ ДЛЯ СМАЗКИ
НА ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПОЛИМЕРНОГО СЛОЯ
СКОЛЬЖЕНИЯ····· 290

Романова М.П., Бузмакова М.М.

МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ,
МОДИФИЦИРОВАННОЙ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ,
С УЧЕТОМ НАЛИЧИЯ МЕЖФАЗНЫХ ОБЛАСТЕЙ ····· 395

Теплых П.Д., Бузмакова М.М.

КОНТИНУАЛЬНАЯ ПЕРКОЛЯЦИЯ К-МЕРОВ НА ПЛОСКОСТИ ····· 301

Хорошев Д.В., Ильялов О.Р., Устюжанцев Н.Е. ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЕ БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СЕГМЕНТОВ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ЧЕЛОВЕКА	308
--	-----

Чикова Т.Н., Тверье В.М. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АДАПТАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ В ПРОСТРАНСТВАХ ИЛЬЮШИНА	312
---	-----

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ

Абдуллина У.В., Шеремет Г.Г. АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТ- КАРТЫ НА УРОКЕ ГЕОМЕТРИИ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММЫ INSPIRATION MAPS	317
---	-----

Гордеева Ю.А. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ОБУЧЕНИИ АНАЛИЗУ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ	323
--	-----

Корепанова А.А. ПРЕПОДАВАНИЕ МАТЕМАТИКИ С УЧЕТОМ СТИЛЕЙ ОБУЧЕНИЯ ..	328
---	-----

Царёва Ф.Ш. ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ	333
--	-----

Царёва Ф.Ш. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КУРСАМИ MOODLE, ОБЛАЧНАЯ КОНФЕРЕНЦ-ПЛАТФОРМА ZOOM И СЕРВИС QUIZLET КАК ИДЕАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ	338
--	-----

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

АНАЛИЗ ОПТИМИЗАЦИЙ ЭТАПОВ ТРАНСЛЯЦИИ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ FORE

Андреев Антон Анатольевич, Дацун Наталья Николаевна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, andreev-09@yandex.ru

В работе рассматриваются оптимизации, применимые на разных этапах трансляции языков программирования. В трансляторе языка Fore присутствует и этап компиляции, и этап интерпретации, и каждый этап можно оптимизировать. Для проведения оптимизаций проведено сравнение промежуточных представлений: синтаксического дерева, ациклического ориентированного графа и графа потока управления. Рассмотрены различные методы оптимизации компиляции. Проведено сравнение оконных оптимизаций и использования оптимальных шаблонов для генерации более оптимального кода. Для более эффективной интерпретации было предложено генерировать более низкоуровневые инструкции. В качестве промежуточного представления предложено использовать ациклический ориентированный граф с вычислениями во время компиляции и применением алгебраических тождеств. Для генерации более эффективного кода предложено использовать шаблоны, а для ускорения выполнения – низкоуровневые инструкции.

Ключевые слова: трансляция, оптимизация компиляции, оптимизация интерпретации, промежуточное представление

Fore – прикладной язык программирования, используемый в приложении «Форсайт. Аналитическая платформа». Язык имеет смешанную схему реализации, его трансляция состоит из двух частей: компиляция исходного кода в промежуточное представление и его интерпретация виртуальной машиной Fore. Данный язык программирования используется для вычислений, однако никакие оптимизации над программой автоматически не производятся.

Для повышения производительности программ, написанных на Fore, предлагается провести анализ возможных оптимизаций, которые можно реализовать в трансляторе. Таким образом, целью данной работы является определение оптимизаций транслятора Fore, которые необходимо произвести. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Провести обзор этапов трансляции.
- 2) Выполнить обзор промежуточных представлений кода, над которыми можно проводить оптимизации.

- 3) Описать возможные оптимизации на различных этапах компиляции.
- 4) Рассмотреть оптимизации этапа интерпретации.
- 5) Выбрать оптимизации на различных этапах трансляции для языка Fore.

Язык Fore имеет смешанную систему реализации, то есть трансляцию можно разделить на две фазы: компиляция в промежуточное представление и интерпретация. Компиляция состоит из следующих фаз: лексического анализа, синтаксического анализа, семантического анализа и генерации кода. Все фазы объединены в два прохода компилятора:

- 1) На первом проходе выполняется лексический и синтаксический анализ.
- 2) Во время второго прохода выполняется семантический анализ и генерация кода на основе исходного кода и информации с первого прохода.

Из-за того, что на этапе компиляции нет промежуточного представления кода, для семантического анализа на втором проходе компиляции приходится второй раз выполнять лексический и синтаксический анализ. Для решения этой проблемы предлагается использовать синтаксические деревья (см. рисунок 1) или ациклический ориентированный граф (см. рисунок 2).

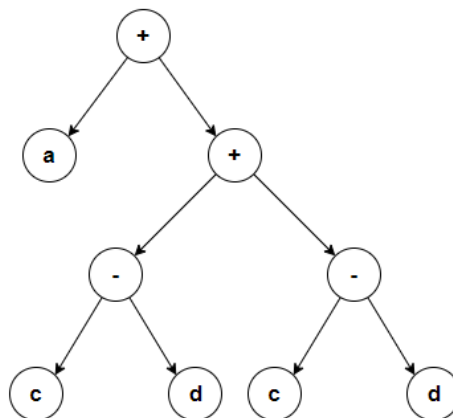


Рисунок 1 – Синтаксическое дерево

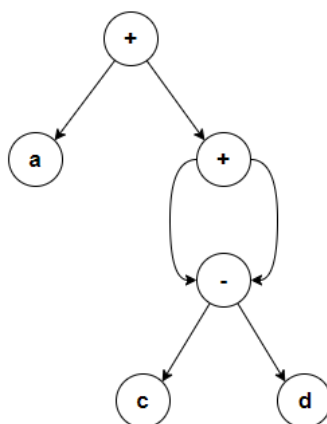


Рисунок 2 – Ациклический ориентированный граф

Чтобы выбрать, какой вариант представления использовать, было проведено сравнение на основе нескольких критериев. Результат сравнения представлен в таблице. На основе выполненного сравнения предлагается использовать ациклический ориентированный граф, так как он незначительно усложняет процесс компиляции по сравнению с синтаксическим деревом, но при его построении автоматически выполняется оптимизация поиска локальных общих подвыражений.

Следующим промежуточным представлением может быть граф потока управления, который моделирует передачу управления между базовыми блоками программы, которые являются его вершинами. Базовый блок – последовательность команд максимальной длины, обладающая следующими свойствами: поток управления входит в блок только через первую команду блока и покидает только в последней команде блока [1]. Данное представление позволяет проводить более сложные оптимизации.

Таблица 1 – Сравнение промежуточных представлений

Промежуточное представление	Простота построения	Несколько проходов	Проведение оптимизаций	Удобство генерации
Не использовать промежуточное представление	Ничего дополнительно строить не нужно	Дублирование лексического и синтаксического анализа	Сложно проводить оптимизации	Генератор кода неотделим от других этапов компиляции
Синтаксическое дерево	Можно строить на основе формального описания языка	Нет дублирования этапов компиляции	Удобен для оптимизаций	Генератор можно выделить в отдельную сущность
Ациклический ориентированный граф	Можно строить на основе формального описания языка	Нет дублирования этапов компиляции	Удобен для оптимизаций и выполнен поиск общих подвыражений	Генератор можно выделить в отдельную сущность

В [2] оптимизации разделяются на четыре типа по области действия: локальные, региональные, глобальные и межпроцедурные. Локальные оптимизации проводятся в рамках одного базового блока и к ним относятся:

- 1) Идентификация локальных общих подвыражений – данная оптимизация будет автоматически проведена во время построения ациклического ориентированного графа.

- 2) Вычисление во время компиляции. Например, в формуле длины окружности используется умножение $2 \cdot R_i$, которое можно выполнить один раз во время компиляции, а не каждый раз при выполнении программы. Данную оптимизацию легко провести, так как Fore является интерпретируемым языком.
- 3) Балансировка высоты дерева выражения [2]. Данную оптимизацию не представляется возможным провести для языка Fore, так как в нём нет возможности выполнить несколько операций сложения при выполнении одной инструкции.

Во время генерации кода должны быть решены несколько проблем. Компилятор должен сопоставить операциям в промежуточном представлении инструкции целевой машины. Так же нужно выполнить планирование инструкций (расположить их в нужном порядке) и распределение регистров, если целевая машина ими обладает. Виртуальная машина Fore является стековой, поэтому последнюю задачу решать нет необходимости.

В общем случае генерация кода – это процесс сопоставления с шаблоном: для каждой инструкции промежуточного представления нужно сгенерировать соответствующий набор инструкций целевой машины. Для повышения скорости исполнения генерируемого кода предлагается использовать несколько шаблонов для каждой инструкции целевого кода. После генерирования кода возможно проведение оконных оптимизаций [2]. Анализ их проведения предлагается провести после реализации других оптимизаций.

Процесс интерпретации можно разделить на 3 этапа: диспетчеризацию команд, время доступа к операндам и выполнение инструкции. Для уменьшения времени, затрачиваемого на диспетчеризацию команд и время доступа к операндам, предлагается использовать суперинструкции [3]. Если известно, что группа инструкций часто выполняется вместе, то их можно объединить в одну и сэкономить на лишнем взаимодействии со стеком. Так как Fore является языком со статической типизацией, то на этапе компиляции возможно определить типы операндов. Это позволит генерировать более низкоуровневый код, что уменьшит время выполнения инструкций [4].

Библиографический список

1. *Aho A.V.* Compilers: principles, techniques, & tools. 2nd ed. Boston: Pearson/Addison Wesley, 2007.
2. *Cooper K.D., Torczon L.* Engineering a compiler. 2nd ed. Boston: Elsevier/Morgan Kaufmann, 2012.
3. *Proebsting T.A.* Optimizing an ANSI C interpreter with superoperators // Proceedings of the 22nd ACM SIGPLAN-SIGACT symposium on Principles of programming languages – POPL '95. San Francisco. 1995. pp. 322-332.
4. *Brunthaler S.* Speculative Staging for Interpreter Optimization // CoRR. 2013.

OPTIMIZATION ANALYSIS OF FOREIGN LANGUAGE TRANSLATION STAGES

Andreev Anton A., Datsun Natalya N.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia,
andreev-09@yandex.ru

The paper considers optimizations applicable at different stages of translation of programming languages. There are compilation and interpretation stages in Foreign language translator and each stage can be optimized. To carry out the optimizations, the intermediate representations were compared: a syntax tree, an acyclic oriented graph, and a control flow graph. Various compilation optimization methods are considered. The window optimizations and the use of optimal templates for generating more optimal code are compared. For a more efficient interpretation, it was suggested to generate low-level instructions. It is proposed to use an acyclic oriented graph with computations during compilation and application of algebraic identities as an intermediate representation. It is proposed to use templates to generate more efficient code, and low-level instructions to speed up execution.

Keywords: translation, compilation optimization, interpretation optimization, intermediate representation

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИКИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Ахметьянова Альбина Ильшатовна

Башкирский государственный университет, 450076, Россия, г.Уфа, ул.
ЗакиВалиди, 32, ai-albina@mail.ru

В статье описано математическое и программное обеспечение для конструирования базиса гомодесмических реакций (ГДР), которое позволяет реализовать гомодесмический подход с целью расчета термодинамических параметров циклических химических соединений. Программа генерирует полный набор независимых гомодесмических реакций для исследуемого соединения. Для наглядности разработанного алгоритма в настоящей работе приведен пример определения базиса гомодесмических реакций для молекулы 1,1-диметилциклобутана.

Ключевые слова: граф, базис гомодесмических реакций, энтальпия образования, 1,1-диметилциклобутан.

Целью работы является разработка математического и программного обеспечения для определения энергетических характеристик циклических органических соединений, с использованием современных представлений молекулярной энергетики. Данные расчеты дают сравнительную оценку и позволяют найти оптимальные условия проведения реакции.

Ранее метод ГДР был с применен в работах [1-3] для определения стандартной энтальпии образования ациклических соединений, представляющих классы спиртов, простых и сложных эфиров, карбонильных соединений. Результаты расчета оказались малочувствительны к уровню сложности квантово-химического метода. Это позволяет применить метод ГДР, разработать математическое и программное обеспечение для более сложных молекулярных систем, включающих в себя циклические соединения.

Ниже приведен пример циклического химического соединения и описаны подробные алгоритмы конструирования базиса ГДР, реализуемые на языке программирования Delphi. В качестве примера, на рисунке 1 представлено соединение 1,1-диметилциклобутана (C_6H_{12}). Частично используя аддитивно-групповой метод Бенсона [4], получаем комбинацию из двух типов внутренних термохимических групп B01 и B03. В данной молекуле присутствуют два типа химических связей: C–C, C–H.

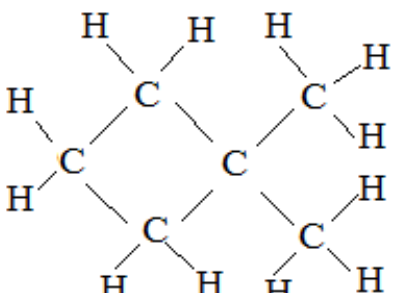
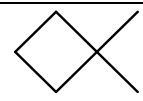
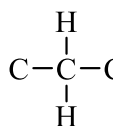
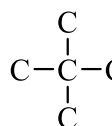
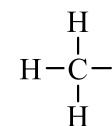
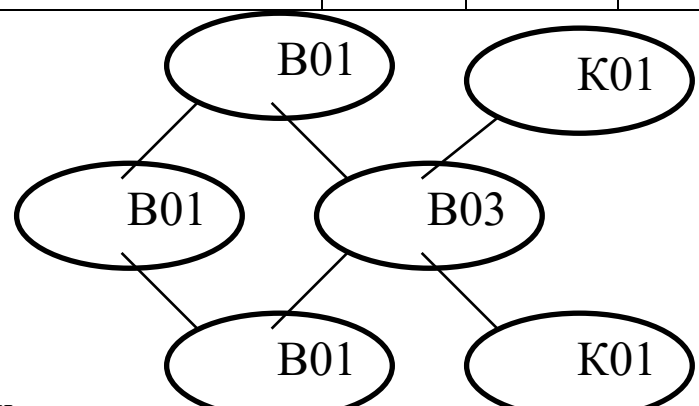
Молекула C_6H_{12} – 1,1-Диметилциклобутана		Внутренние группы		Концевая группа
		группы		группа
	или 	B01: 	B03: 	K01: 
		или 		

Рисунок 1 – Молекулярный граф C_6H_{12} – 1,1-Диметилциклобутана и его групповой состав

Согласно алгоритму [5], для разрушения цикла минимальное число разрывов равно 1, а максимальное – 4 (по количеству связей между внутренними группами), т.е. для 1,1-Диметилциклобутана существует девять базисных ГДР, представленных на рисунке 2. При анализе возможных комбинаций учитывали, что все связи B01–B01 или B01–B03, одинаковы, что уменьшает число вариантов разрыва. Места разрыва показаны пунктирной линией, сохранившиеся связи – сплошной.

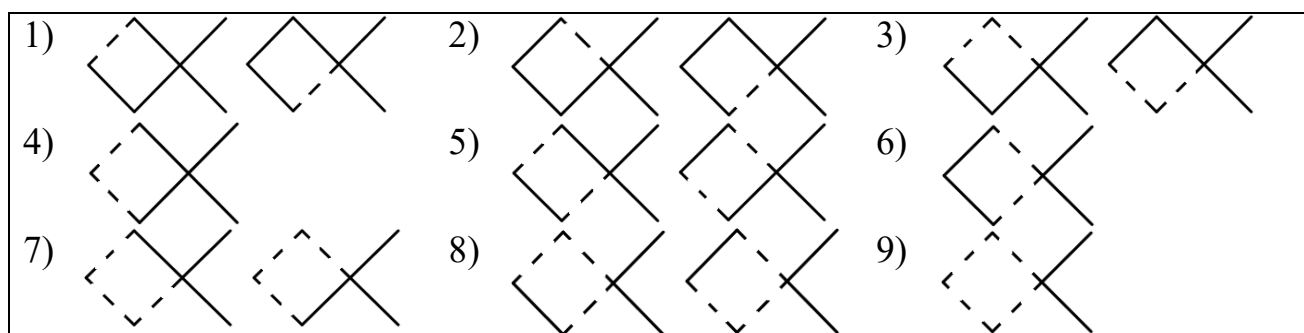
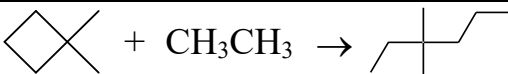
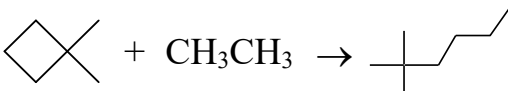
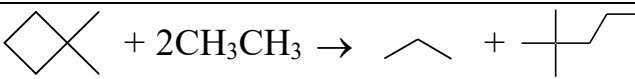
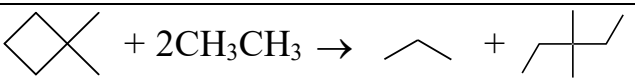
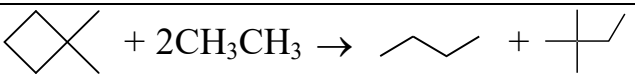
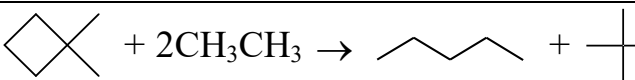
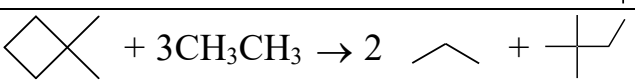
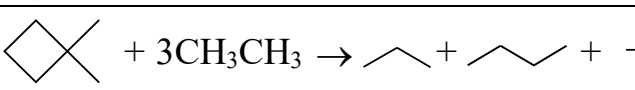
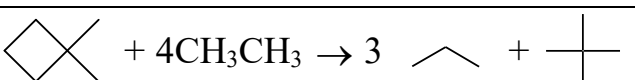


Рисунок 2 – Базис гомодесмичеких реакций молекулы C_6H_{12} – 1,1-Диметилциклобутан

Реагент – $K_1K_1(CH_3CH_3)$ – образован из концевых групп, входящих в продукты ГДР. Выполнение условия группового баланса в ГДР позволяет расставить стехиометрические коэффициенты в реакции. Тем самым, для 1,1-

Диметилциклобутана определено гомодесмических реакций (таблица 1, рисунок 3).

Таблица 1 – Базис ГДР

1) $C_6H_{12} + C_2H_6 \rightarrow C_8H_{18}$	
2) $C_6H_{12} + C_2H_6 \rightarrow C_8H_{18}$	
3) $C_6H_{12} + 2 C_2H_6 \rightarrow C_3H_8 + C_7H_{16}$	
4) $C_6H_{12} + 2 C_2H_6 \rightarrow C_3H_8 + C_7H_{16}$	
5) $C_6H_{12} + 2 C_2H_6 \rightarrow C_4H_{10} + C_6H_{14}$	
6) $C_6H_{12} + 2 C_2H_6 \rightarrow C_5H_{12} + C_5H_{12}$	
7) $C_6H_{12} + 3 C_2H_6 \rightarrow 2C_3H_8 + C_5H_{10}$	
8) $C_6H_{12} + 3 C_2H_6 \rightarrow C_3H_8 + C_4H_{10} + C_5H_{10}$	
9) $C_6H_{12} + 4 C_2H_6 \rightarrow 2C_3H_8 + C_5H_{10}$	

Программное обеспечение реализовано на языке программирования Delphi (рисунок 3). Применен специализированный метод перебора, основанный на рекурсии.

Определение базиса ГДР	
Выберите соединение	C6H12 - 1,1-Диметилциклобутан
Выберите метод	G3
	Изменить матрицу смежности
Базис ГДР	Коэффициент пересчета: 1 Хартри
№ п/п	Формула
1	C6H12 - 1,1-Диметилциклобутан + C2H6 -> C8H18 - 3,3-Диметилгексан
H0, Хартри	-235.585003 + -79.718912 -> -315.340738
ΔHf0, кДж/моль	X + -84.0 -> -220.1
2	C6H12 - 1,1-Диметилциклобутан + C2H6 -> C8H18 - 2,2-Диметилгексан
H0, Хартри	-235.585003 + -79.718912 -> -315.343111
ΔHf0, кДж/моль	X + -84.0 -> -224.7
3	C6H12 - 1,1-Диметилциклобутан + 2 C2H6 -> C7H16 - 2,2-Диметилпентан + C3H8
H0, Хартри	-235.585003 + 2* -79.718912 -> -276.073327 + -118.988320
ΔHf0, кДж/моль	X + 2* -84.0 -> -206.2 + -104.7
4	C6H12 - 1,1-Диметилциклобутан + 2 C2H6 -> C7H16 - 3,3-Диметилпентан + C3H8
H0, Хартри	-235.585003 + 2* -79.718912 -> -276.071079 + -118.988320
ΔHf0, кДж/моль	X + 2* -84.0 -> -201.5 + -104.7
5	C6H12 - 1,1-Диметилциклобутан + 2 C2H6 -> C6H14 - 2,2-Диметилбутан + C4H10
H0, Хартри	-235.585003 + 2* -79.718912 -> -236.803671 + -158.257940
ΔHf0, кДж/моль	X + 2* -84.0 -> -185.6 + -125.6
6	C6H12 - 1,1-Диметилциклобутан + 2 C2H6 -> C5H12 - Неопентан (1) + C5H12
H0, Хартри	-235.585003 + 2* -79.718912 -> -197.535841 + -197.527544
ΔHf0, кДж/моль	X + 2* -84.0 -> -167.9 + -146.8
7	C6H12 - 1,1-Диметилциклобутан + 3 C2H6 -> C6H14 - 2,2-Диметилбутан + 2 C3H8
H0, Хартри	-235.585003 + 3* -79.718912 -> -236.803671 + 2* -118.988320
ΔHf0, кДж/моль	X + 3* -84.0 -> -185.6 + 2* -104.7
8	C6H12 - 1,1-Диметилциклобутан + 3 C2H6 -> C5H12 - Неопентан (1) + C4H10 + C3H8
H0, Хартри	-235.585003 + 3* -79.718912 -> -197.535841 + -158.257940 + -118.988320
ΔHf0, кДж/моль	X + 3* -84.0 -> -167.9 + -125.6 + -104.7
9	C6H12 - 1,1-Диметилциклобутан + 4 C2H6 -> C5H12 - Неопентан (1) + 3 C3H8
H0, Хартри	-235.585003 + 4* -79.718912 -> -197.535841 + 3* -118.988320
ΔHf0, кДж/моль	X + 4* -84.0 -> -167.9 + 3* -104.7

Рисунок 3 – Программная реализация поставленной задачи

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. Khursan S.L., Ismagilova A.S., Spivak S.I. Graph Theory Method for Determining the Basis of Homodesmotic Reactions for Acyclic Chemical Compounds // Doklady Physical Chemistry. 2017. V.474. Part.2. P.99-102.

3. *Khursan S.L., Ismagilova A.S., Akhmetyanova A.I.* Determining the basis of homodesmotic reactions of cyclic chemical compounds // *DokladyPhysical Chemistry*, 2018. Т. 92. № 7. Р. 1312-1320.
4. *Бенсон, С.У.* Термохимическая кинетика / С.У. Бенсон // Москва: Мир. 1971. 308 с.
5. *Зиганишина Ф.Т., Ахметьянова А.И., Исмагилова А.С., Хурсан С.Л., Ахмеров А.А.* Теоретико-графовый метод определения гомодесмических реакций для циклических химических соединений // *Системы управления и информационные технологии*. 2018. Т.74. №4. С. 72-77.

ENERGY ANALYSIS SOFTWARE FOR CYCLIC CHEMICAL COMPOUNDS

Akhmetyanova Albina I.

Bashkir State University, 32, ZakiValidi st., Ufa, 450076, Russia,
ai-albina@mail.ru

The article describes the mathematical and software for constructing the basis of homodesmic reactions (GDR), which makes it possible to implement the homodesmic approach in order to calculate the thermodynamic parameters of cyclic chemical compounds. The program generates a complete set of independent homodesmic reactions for the compound under study. For clarity of the developed algorithm, this work gives an example of determining the basis of homodesmic reactions for the 1,1-dimethylcyclobutane molecule.

Keywords: graph, basis of homodesmic reactions, enthalpy of formation, 1,1-dimethylcyclobutane.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПРОВЕРКА ПРОГРАММ НА ОСНОВЕ ЗАДАВАЕМЫХ ШАБЛОНОВ

Белозерова Елизавета Сергеевна, Данилова Екатерина Юрьевна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, belozerovalizaveta@gmail.com,
ket-eref@yandex.ru

Данная работа посвящена особенностям реализации модели для автоматической проверки программ на основе задаваемых шаблонов. Тестирование решений используется в процессе обучения и при проведении соревнований по программированию, однако существующие на данный момент подходы не решают проблему множественности верных ответов. Генерация множества верных ответов на основе задаваемых шаблонов позволяет решить эту проблему. Разработанное приложение может быть применено для автоматического тестирования решений указанных задач.

Ключевые слова: автоматическая проверка решений, автоматическое тестирование, тестирование программ, тестирование на основе шаблонов, классификация ответов.

Введение

Программные средства решения задач применяются в различных областях человеческой деятельности. Для проверки правильности составления алгоритмов и программ требуются обширные наборы тестов, которые необходимо проводить регулярно, а потому высока потребность в автоматической проверке. Существует проблема программного тестирования решений для задач, имеющих несколько правильных ответов (не только различные верные формы записи одного ответа, но и множество совершенно различных верных ответов).

Существующие подходы к автоматическому тестированию

На данный момент автоматическое тестирование решений тяготеет к двум полюсам: посимвольная проверка [1-6] и «чекеры». Посимвольная проверка предполагает, что полученный от пользователя ответ минимально обрабатывается (понижается регистр, удаляются пробелы и пробельные символы), а затем сравнивается с эталонным на точное совпадение символов. «Чекеры» анализируют ответ на соответствие условиям задачи, самостоятельно

проходя все этапы алгоритма и сверяя ответ, полученный в процессе решения, с ответом студента.

Решая задачу о гамильтоновом цикле с использованием «жадного» алгоритма, «чекер» проанализирует ответ учащегося и удостоверится, что был использован именно «жадный» алгоритм. Взяв из ответа первую указанную вершину, тестирующая система переберет смежные ребра и выберет среди них минимальное по длине, инцидентное непосещенной вершине. Вторая вершина, найденная системой, сравнивается со второй вершиной, предложенной учащимся. Взяв вторую вершину, аналогичным способом «чекер» найдет и проверит третью и т. д. Тестирование будет продолжаться до тех пор, пока не будет найдено несоответствие, либо пока не будут рассмотрены все вершины гамильтонова цикла, предложенного учащимся (в этом случае задача считается решенной верно).

Подход проверки точного соответствия неудобен тем, что обеим сторонам приходится следовать принятым договоренностям, повышается риск принять верное с точки зрения постановки задачи решение за неверное из-за особенностей тестирующей системы. В случае применения «чекеров» для добавления новых тестовых случаев, возможно, придется вносить правки в систему проверки, а если возникает необходимость расширить перечень задач, то придется разрабатывать отдельный модуль.

Альтернативный подход – генерация ответов по задаваемым шаблонам

Используем наблюдение, что среди получаемых ответов есть повторяющиеся классы ответов, например, «точное совпадение», «цикл», «перестановка». Тогда для задания верного ответа пользователю требуется указать только класс ответа и базовый ответ, на основе которых будет создано целое множество верных ответов. Любой пользовательский ответ, принадлежащий данному множеству, будет распознан тестирующей системой как верный.

Рассмотрим описанный подход на примере проверки задачи о коммивояжере, тогда классом ответа будет «цикл», а базовым ответом – запись гамильтонова цикла в форме последовательности вершин. Тестирующая система, используя циклический сдвиг и двигаясь в обоих направлениях – по часовой стрелке и против – сгенерирует все возможные циклы на основе указанного [2].

Разработка информационной системы, реализующей описанный подход

Была разработана информационная система, реализующая описанный подход, которая может быть использована для тестирования студенческих решений.

Использование модулей (в данном случае библиотек dll) для добавления классов ответов позволит в будущем легко расширять систему. Для демонстрации работы механизма была создана библиотека, содержащая три класса ответов: точное совпадение, цикл (вариант, когда верный цикл единственен, но подразумевает циклический сдвиг), перестановку [2].

Каждый класс модуля реализует интерфейс IPattern, предоставляющий методы:

- `string GetName()` – получение названия класса ответа для поиска и сохранения в БД,
- `bool IsAnswerCorrect(string basicAnswer, string answer)` – автоматическая генерация множества верных ответов и проверка пересечения ответа студента с этим множеством.

Для автоматической проверки решений студентов преподавателю требуется предварительно описать тестовые случаи в виде: «путь к файлу входных данных – класс ответа и базовый ответ – ограничение по времени». Далее преподаватель указывает путь к папке, содержащей исполняемые файлы программ студентов и запускает проверку.

Для автоматического тестирования должна существовать папка, позволяющая изолировать проверяемое на текущей итерации решение от остальных решений, рассматриваемый тест от других тестов. Обозначим эту директорию как «котел», тогда алгоритм проверки будет выглядеть следующим образом:

шаг 1. Начало;

шаг 2. Выбор всех исполняемых файлов из целевой папки;

шаг 3. Для каждого файла из шага 2 определяем задачу и автора;

шаг 4. Получаем из БД все пути к тестам, шаблоны, лимиты времени, связанные с текущей задачей;

шаг 5. Для каждого теста запускаем проверку:

шаг 5.1. Удаляем все текстовые файлы из директории «котел»;

шаг 5.2. Копируем в «котел» файл решения;

шаг 5.3. Копируем текстовый файл теста;

шаг 5.4. Запускаем файл решения, ожидаем завершения в течении соответствующего текущему тесту лимиту времени;

шаг 5.5. Завершаем исполнение решения, если оно не было завершено;

шаг 5.6. Считываем содержимое результирующего файла, сгенерированного программой студента;

шаг 5.7. Генерируем множество верных ответов и проверяем, содержится ли ответ из предыдущего шага в нем;

шаг 5.8. Фиксируем результаты проверки в соответствующей структуре данных

шаг 5.9. Переходим к следующему тесту

шаг 6. Удаляем решение и переходим к следующему файлу

шаг 7. Сообщаем пользователю об окончании проверки, выводим результаты на экран;

шаг 8. Конец.

Когда проверка будет завершена, преподаватель имеет возможность просмотреть статистику по учащимся – количество верных ответов, форму записи ответа для каждого тестового случая, данные о каждом тесте – входные данные, базовый ответ и класс ответа.

Заключение

Была создана информационная система, позволяющая автоматически тестировать решения студентов.

Библиографический список

1. *Ахи А.А.* Автоматические методы модификации решений для тестирования проверяющих программ / А.А. Ахи, А.С. Станкевич, А.А. Шалыто // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. №1 (77). С. 81-85.
2. *Белозерова Е.С.* Выделение классов ответов для автоматической проверки задач на основе задаваемых шаблонов / Е.С. Белозерова, Е.Ю. Данилова // Сборник материалов научно-технической конференции АСУИТ-2020.
3. *Власова О.В.* Применение автоматизированной системы тестирования программ для обучения студентов программированию / О.В. Власова, О.П. Якимова // В сборнике: Актуальные проблемы совершенствования высшего образования. Материалы методической конференции с международным участием. Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова. 2018. С. 269-271.
4. *Корнев А.А.* Программа автоматической проверки заданий по программированию: диплом. работа. НИУ ВШЭ, Москва, 2016.
5. *Нелюбин Е.С.* Системы автоматического тестирования программ как онлайн обучающие системы / Е.С. Нелюбин, Э.И. Адильшаева // Информационно-компьютерные технологии в экономике, образовании и социальной сфере. 2016. №2 (12). С. 82-89.
6. *Новиков М.Д.* Система автоматического тестирования программ, написанных на языке паскаль / М.Д. Новиков // Альманах современной науки и образования. 2017. №6 (119). С. 68-71.

AUTOMATIC TESTING BASED ON TEMPLATES

Belozeroва Elizaveta S., Danilova Ekaterina Yu.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia,
belozerovalizaveta@gmail.com, ket-eref@yandex.ru

This article describes implementation features of the model for automatic testing based on templates. Solution testing is used for education and programming competitions. Existing checkers does not solve problem of multiple correct answers. Generation of correct answers set based on templates can solve this problem. We use answer classes as “exact match”, “set”, “circle” to demonstrate how our application works and how model is implemented. We use plugin architecture to simplify expansion of the application in future. Developed application can be used in automatic testing for students’ solutions.

Key words: solution automatic test, automatic test, program testing, answers’ template.

ИНТЕРАКТИВНЫЙ МУЛЬТИЯЗЫЧНЫЙ РЕДАКТОР ДЛЯ «ГРАМОТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ»

Волков Илья Игоревич

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, ilya@lispberry.com

В данной статье описана идея «грамотного программирования» и его преимущества. Приводятся основные среды, которые реализуют его поддержку. Описываются основные элементы интерфейса и устройство интерактивного редактора для «грамотного программирования». Вводится механизм ссылок, которые позволяют взаимодействовать различным языкам и редактору, а также вести разработку без дополнительного этапа компиляции. Показана их реализация по средствам CPS трансформации кода и поиска имён. Описан механизм поиска имён при трансляции ссылок. Предложен механизм для упорядочивания фрагментов кода по объявлениям и описана реализация отладчика. Описывается необходимая функциональность для того, чтобы добавить новый язык в систему.

В 1981 Д. Кнут предложил идею грамотного программирования [1]. Оно заключается в том, что код и документация пишутся не отдельно, а вместе. Одно из преимуществ «грамотного программирования» – возможность объявлять элементы языка в удобном для читателя порядке вне зависимости от особенностей реализации языка. В оригинальной системе WEB это реализовано посредством ссылок и макропроцессора. Данный редактор развивает эту идею и позволяет произвольным образом группировать в зависимости от потребностей читателей не только фрагменты кода, но и другие элементы документа. При этом программа остаётся полностью работоспособной и не требует отдельного этапа макроподстановки и компиляции для работы.

Н. Рамзей в системе noweb [2] расширил возможности WEB. Он добавил возможность указать, в какие файлы попадут фрагменты кода, инструментализацию кода, чтобы он сохранял своё положение в документе для отладчика, а также сделал возможным использовать несколько различных языков в рамках одного документа. Но, поскольку эта программа также является макропроцессором, возможности по взаимодействию языков ограничены. Так невозможно использовать ссылку на фрагмент кода в одном языке во фрагменте на другом языке. В связи с популярностью мультязычных

рантаймов и удешевлению взаимодействия языков, использование нескольких языков в рамках одного проекта стало более привлекательным.

Для решения этой проблемы мы ввели в редактор ссылки. Ссылки могут указывать на фрагмент кода, на ссылки и на другие элементы документа. В рамках фрагмента кода ссылки могут указывать на любое выражение или объявление языка. Ссылки, указывающие на код на одном языке, можно использовать во фрагментах кода на другом языке. Они похожи на замыкания, захватывающие переменные в месте использования: все необъявленные переменные из фрагмента кода, на который указывает ссылка, связываются с переменными из фрагмента кода, в котором приводится ссылка. Эта связь устанавливается по названиям переменных, но с учётом стиля наименования в языке. Так переменная *sampleName* в JavaScript соответствует переменной *sample-name* в Clojure. Поскольку объекты языков могут различаться, редактор также преобразовывает их.

Ссылки хранят все значения элемента, на который они ссылаются: когда он обновляется, обновляется и значение ссылки. При этом можно временно поменять значение ссылки на другое. Это полезно для отладки.

Ссылка на код обновляется лениво: пока фрагмент кода не будет выполнен, её значение не изменится. Если фрагмент кода содержит синтаксические ошибки, то его исполнение откладывается. Когда ошибка будет исправлена, отложенное исполнение возобновится. Если ссылка используется в другом языке, её значение преобразовывается в значение другого языка.

Часто возникает ситуация, что фрагменты кода должны выполняться в определённом порядке. Например, в одном фрагменте кода используется функция, которая объявлена в другом фрагменте. Выстраивать эту последовательность посредством ссылок не всегда удобно, так как фрагменты кода могут появляться в произвольном порядке в зависимости от настроек пользователя или могут быть скрыты. Поэтому редактор просматривает объявления верхнего уровня и выстраивает фрагменты в последовательность для исполнения. Поскольку в Clojure за исключением объявлений *var* область имён статична, это возможно сделать довольно точно. Clojure требует последовательного объявления всех идентификаторов, поэтому случай циклических ссылок можно игнорировать. В случае когда имя и ссылка на фрагмент отсутствуют, редактор выводит ошибку пользователю.

Блоки кода со ссылками транслируются в обычный JavaScript код в несколько этапов. Сначала все ссылки заменяются неограниченными продолжениями, которые передают управление редактору. Это необходимо для того, чтобы можно было остановить исполнение, если что-то не так с элементом, на который указывает ссылка, а также для того, чтобы обновить

значения ссылок. Затем продолжения транслируются в цепочку замыканий с помощью CPS преобразования, описанного в книге [3]. Из современных сред исполнения JavaScript только Safari поддерживает оптимизацию хвостовой рекурсии. Поэтому мы дополнили преобразование трамплином. Полученный код уже может выполнить браузер.

Трансляция кода и поиск имён – трудоёмкие операции, которые могут значительно замедлить загрузку страницы. Поэтому трансляция производится инкрементально, при первом запуске фрагмента кода. Потом её результаты кешируются и не обновляются до следующей модификации кода и его исполнения.

Поскольку JavaScript исполняется в однопоточном режиме, долгие вычисления могут заблокировать работу графического интерфейса. Чтобы этого избежать, мы интегрировали трамплин в цикл событий и вызываем следующее продолжение с помощью функции *setTimeout*.

Продолжения также используются для реализации отладчика. Точки останова транслируются в продолжение, которое передаёт управление отладчику. В отличие от существующих средств для «грамотного программирования» для отладки кода не нужно использовать отдельные инструменты. Это позволяет отлаживать программу на нескольких языках, не отрываясь от документа и не используя несколько различных отладчиков по отдельности.

В редактор просто добавить поддержку нового языка. Достаточно, чтобы его интерпретатор поддерживал остановку исполнения в произвольном месте и предоставил доступ к стеку исполнения (например, в виде продолжений). Для корректной работы ссылок также требуется доступ к абстрактному синтаксическому дереву с позициями кода в тексте и представление пространства имён.

В будущем планируется интеграция DAP протокола [4] для упрощения интеграции новых языков в редактор и адаптации уже готовых отладчиков. Кроме того, планируется добавить поддержку компиляции и предобработки на сервере, поскольку у некоторых языков очень тяжеловесные компиляторы, что сильно замедлит загрузку страницы.

Библиографический список

1. *Knuth D.* Literate programming. // The Computer Journal. 1984. Vol. 27(2), P. 97-111.
2. *Ramsey N.* Literate programming simplified. // IEEE Software, 1994. Vol. 11(5), P. 97-105.
3. *Queinnec C.* Lisp in Small Pieces. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.
4. Official page for Debug Adapter Protocol. [Электронный ресурс] URL: <https://microsoft.github.io/debug-adapter-protocol/>

INTERACTIVE MULTI-LANGUAGE EDITOR FOR «LITERATE PROGRAMMING»

Volkov Ilya I.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, ilya@lispberry.com

The paper discusses the idea of «literate programming» and its advantages. Then the paper describes the main programming environments that facilitate its support. It shows the main elements of the graphical interface and the implementation of the editor for «literate programming». It introduces the mechanism of links that facilitate the communication between different programming languages and the editor and programming without the additional compilation step. It presents the implementation of the links using CPS transformation and name resolution. It describes the algorithm of name resolution when translating the links. It suggests the mechanism for sorting of the fragments of code by definitions and describes the implementation of its debugger. It shows the necessary functionality to add a new language to the system.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТАНДАРТОВ

Гостева Екатерина Андреевна, Ланин Вячеслав Владимирович

Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”,
614070, Россия, г. Пермь, ул. Студенческая, 38, vlanin@live.com

Стандарты представляют собой часть корпоративных знаний о бизнес-процессах компании, в них содержится информация о технологических достижениях и инновациях в предметной области. Однако, постоянный растущий объем документов значительно затруднил процесс поиска необходимой информации за достаточно непродолжительное время. По данным Ассоциации индустрии технологических услуг неэффективная практика обмена знаниями обходится компаниям в \$31,5 млрд. ежегодно, работники тратят 30% времени на поиск или воссоздание уже существующей информации, 74% опрошенных компаний считают, что система управления знаниями повысит их производительность в среднем на 10-40% [1]. В процессе решения данной проблемы появилось целое направление «Information Extraction», суть которого заключается в извлечении структурированных данных из слабоструктурированных или неструктурированных документов, что облегчает их последующую обработку и анализ. Необходимость создания системы семантического поиска и визуализации контента промышленных стандартов была описана в работе [2], в данной же работе представлен процесс разработки модуля извлечения информации системы интеллектуального поиска в промышленных стандартах.

Ключевые слова: промышленные стандарты, умное производство, интеллектуальный поиск.

На данный момент существует несколько сотен промышленных стандартов, среди которых в качестве входных документов для разрабатываемой системы были выбраны стандарты проекта oneM2M в области Интернета вещей – доступ к ним открыт, они используются многими организациями и являются актуальными за счет постоянных обновлений, содержат как терминологические, так и промышленные стандарты, стандарты технических требований, безопасности труда и обеспечения качества [3].

Для реализации модуля будет использован метод извлечения информации на основе правил. Его работа основана на том, что извлекаемая информация имеет определенные языковые конструкции, которые вручную описываются в

виде шаблонов и правил их обработки, которые применяются к анализируемому тексту, пока не будут найдены все соответствия шаблону. Например, из предложения «князь Святослав все время проводил в военных походах и мало интересовался внутренними делами подвластных земель» с помощью правила «ЕСЛИ за словами князь, княгиня, княжич, княжна следует слово с большой буквы ТО извлечь слово с меткой имя» будет извлечено имя «Святослав».

Лексико-синтаксический шаблон – формальное описание языковой конструкции, которую необходимо найти в тексте, чтобы найти нужную информацию. Шаблон может быть записан регулярным выражением, например, поиск имени будет выглядеть так «[князь|княгиня|княжич|княжна] ([А-Я][а-я]*)», где «[князь|княгиня|княжич|княжна]» – варианты титулов, «([А-Я][а-я]*)» – конструкция, описывающая имя.

Достоинства данного подхода заключаются в более точных результатах в узких предметных областях с небольшим разнообразием языковых конструкций, а также учете особенностей заданных слов – регистр букв и их последовательность [4].

В основном извлекаемая информация – это термины и их определения. Для написания лексико-синтаксических шаблонов необходимо сформировать все возможные языковые правила построения определений в предложениях. Самый распространенный способ написать определение – это использовать определительное придаточное предложение, где часть сложного предложения зависит от главного. К таким предложениям относятся предложения со следующими конструкциями (приведены лишь некоторые примеры), основанными на частях речи, где «()» – необязательная часть, «/» – возможные варианты [5]:

1. (a/an/the) (adjective) noun is/are (a/an/the) (adjective/ adjective and adjective) noun + of + noun/adjective/v-ing.
2. (a/an/the) (adjective) noun is (a/an/the) noun (which/that/where/when/who) + (adverb) past participle + (preposition).
3. (a/an/the) (adjective) noun is/are/ may/can be (adverb) defined/known as / called (a/an/the) noun of noun (which/that where/when/who).
4. (a/an/the) noun + (adverb) verb (+preposition).
5. (a/an/the) noun + is/are + (adverb) past participle+preposition.

Для построения модуля извлечения информации из стандартов применяется инструмент Stanford CoreNLP, который предназначен для обработки и анализа текстов на естественном языке. В ядро проекта входит также Stanford Parser (вывод зависимостей и построения дерева), Stanford POS Tagger (определение части речи), Stanford RegexNER (для извлечения

именованных сущностей), Stanford EnglishTokenizer (разделение на токены), Stanford TokensRegex (для определения лексико-синтаксических шаблонов) и Stanford Relation Extractor (для выявления отношений) и другие [6].

Для реализации модуля извлечения информации используется язык Python, в качестве среды разработки – Jupyter Notebook – веб-приложение для интерактивной разработки и представления проекта, включающее в себя очистку и преобразование данных, визуализацию данных, машинное обучение и др. На вход модулю поступают стандарты в формате «PDF», поэтому для работы с такими документами была выбрана библиотека «PyMuPDF», которая является облегчённым средством просмотра PDF, а также известна своей высокой производительностью и высоким качеством рендеринга [7].

Для начала из каждого стандарта должны быть извлечены название и номер стандарта. Данные реквизиты находятся на первой странице и их можно найти с помощью слов «Document Number» and «Document Name», как показано на рисунке 1.

```
import fitz, re, os, pandas as pd, nltk, numpy as np
for filename in os.listdir('./specifications/'):
    #open the standard and get the name and number

    doc = fitz.open('./specifications/'+filename)
    info_page = doc.loadPage(0).getText("text").split('\n')
    doc_num = info_page[info_page.index('Document Number')+1].replace('oneM2M- ', '')
    doc_name = info_page[info_page.index('Document Name:')+1]
```

Рисунок 1 – Загрузка стандартов и извлечение данных о них

Что касается определений, то здесь есть два варианта: это определения, которые вынесены в отдельную главу «Definitions» и определения, которые необходимо найти с помощью составленных ранее шаблонов прямо из текста стандарта.

Для работы с уже выделенными в отдельный параграф терминами, пример представлен на рисунке 2, необходимо загрузить только интересующие нас страницы, для чего понадобится оглавление («Contents») – здесь необходимо найти номера страниц третьей главы. Содержание отобранных страниц объединяется, и очищается от лишней информации, например, знак копирайта, комментарии, номер страницы (рисунок 3).

3 Definitions and abbreviations

3.1 Definitions

For the purposes of the present document, the terms and definitions given in oneM2M TS-0011 Common Terminology [25] and the following apply:

Complex Data Type: data type that has a child element

Enumeration Type: data type that defines a variable to be one of a set of predefined constants

Group Hosting CSE: CSE where the addressed group resource resides

Hosting CSE: CSE where the addressed resource is hosted

Location Server: server offering location capabilities

© oneM2M Partners Type 1 (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TTA, TSDSI, TTA, TTC) Page 24 of 397
This is a draft oneM2M document and should not be relied upon; the final version, if any, will be made available by oneM2M Partners Type 1.

Рисунок 2 – Пример главы стандарта с определениями

```
result = []
#get the numbers of pages with terms
contents = doc.loadPage(2).getText("text").replace('.', '').split('\n')
term_page_start = int(re.findall(r'\d+', contents[contents.index('3')+1])[0])-1
term_page_end = int(re.findall(r'\d+', contents[contents.index('4')-1])[0])

#read the chapter with terms
raw_chapter = ''
i = term_page_start
while i < term_page_end:
    raw_chapter += doc.loadPage(i).getText("text")
    i += 1
raw_chapter = raw_chapter.split('\n')
raw_chapter = [x for x in raw_chapter if x.strip()]

#delete information about each page
chapter_wo_page_info = [x for x in raw_chapter if "@" not in x
                        and 'This is a draft oneM2M document' not in x
                        and 'Page ' not in x and 'Commented ' not in x]
```

Рисунок 3 – Загрузка главы «Definitions» и очистка текста

Необходимая нам информация представлена в формате «термин: определение (+заметки и примеры)». Однако, под такой же шаблон попадают некоторые вводные предложения, например, строка «For the purposes of the present document, the terms and definitions given in oneM2M TS-0011 Common Terminology [25] and the following apply: Complex Data Type», поэтому необходимо их удалить, а затем разбить текст по абзацам, так, чтобы дополнения формата «NOTE» и «EXAMPLE» были определены не как отдельные элементы, а как элементы определенного ранее термина. Теперь осталось только разделить термин и его определение, что легко сделать, так как между данными частями стоит двоеточие и сохранить результаты в таблицу, как показано на рисунке 4.

```

#select only terms and their definitions
terms_exist = [idx for idx, s in enumerate(chapter_wo_page_info) if 'apply:' in s
               or '0-9 ' in s]
if len(terms_exist)!=0:
    terms_start = terms_exist[0]+1
    terms_end = [idx for idx, s in enumerate(chapter_wo_page_info) if 'Abbreviations' in s
                or 'Symbols' in s or 'Conventions' in s or '3.27' in s][0]-1
    terms = chapter_wo_page_info[terms_start:terms_end]

#select the beginning of a term using :, NOTE and EXAPMPLE are not count
index_start_def=[i for i, e in enumerate(terms) if e.find(':') != -1
                 and 'NOTE' not in e.replace(' ', '') and 'NOTE' not in terms[i-1]
                 and 'EXAMPLE' not in e.replace(' ', '') and 'EXAMPLE' not in terms[i-1]]
index_start_def.insert(len(index_start_def), len(terms))

#find a term and its definition

for i in range(len(index_start_def)-1):
    raw_term = " ".join(terms[index_start_def[i]:index_start_def[i+1]])
    # print(raw_term)
    # print('=====')
    split_term = raw_term.split(':', 1)
    term = re.sub(r"\[i*\.*\d*\]", "", split_term[0])
    definition = split_term[1]
    result.append([term, definition])
return pd.DataFrame(result, columns=['term', 'definition'])

```

Рисунок 4 – Извлечение терминов и их определений из «Definitions»

Следующий шаг – извлечение определений из оставшейся части документов с помощью описанных ранее шаблонов. Для того чтобы найти определения необходимо разбить весь документ на предложения и проанализировать каждое слово на предмет его части речи с помощью библиотеки Stanford CoreNLP, что показано на рисунке 5.

```

res = []
nlp2 = StanfordCoreNLP(r'C:\stanford-corenlp-full-2018-10-05')
props={'annotators': 'tokenize,ssplit,pos','pipelineLanguage':'en','outputFormat':'text'}
for page in doc:
    annotated_text = nlp2.annotate(page.getText("text"), properties=props)
    annotated_sentences = re.split("Sentence #\d+ \\\d+ tokens\\:", annotated_text)[1:]
    for sentence in annotated_sentences:
        sentence_parts = sentence.split('Tokens:')
        clean_sentence = re.sub("[\r,\n]", '', sentence_parts[0])

        tagged_part = re.sub("[\r,\n]", '', sentence_parts[1]).split('[')
        tagged_part = ["_".join(re.sub("(CharacterOffsetBegin|CharacterOffsetEnd|\\[*Text|PartOfSpeech]=\\d*", '',
            tagged_word).split()) for tagged_word in tagged_part[:-1]]

        tagged_sentence = ' '.join(tagged_part)

    res.append([clean_sentence, tagged_sentence])

```

Рисунок 5 – Разбиение текста на предложения и определение частей речи

Теперь необходимо описать шаблоны с помощью регулярных выражений и используя метод «re.search(pattern, string)», который осуществляет поиск паттерна по всей строке (не только в начале), выполнить поиск определений. Пример описания первого шаблона представлен на рисунке 6.

(a/an/the) (adjective) noun is/are (a/an/the) (adjective/ adjective and adjective)
 noun + of + noun/adjective/v-ing
 (A|An|The|a|an|the)_DT\s)?(\w+ (JJ|JJR|JJS)\s)?\w+ (NN|NNP|NNS)\s
 (is|are) VBZ\s((a|an|the)_DT\s)?((\w+ (JJ|JJR|JJS)\s))((\w+ (JJ|JJR|JJS)\s)
 and_CC\s(\w+ (JJ|JJR|JJS)))\s)?\w+ (NN|NNP|NNS)\sof_IN\s
 \w+ (NN|NNP|NNS|JJ|JJR|JJS|VBG)

Рисунок

ярных

выражений

В итоге получаем таблицу, как показано на рисунке 7, по которой можно будет осуществлять поиск, а также выгружать ее в формат MS Excel. Последним шагом в модуле извлечения информации стало выделение найденных определений в стандартах, для этого необходимо добавить соответствующую аннотацию в текст с помощью параметра «page.addHighlightAnnot()». Код для выделения определения представлен на рисунке 8, результаты его выполнения представлены на рисунке 9.

doc_num	doc_name	term	definition
0 TS-0001-V3.15.1	Functional Architecture	access control attributes	set of parameters of the Originator, target r...
1 TS-0001-V3.15.1	Functional Architecture	access decision	authorization reached when an entity's Privil...
2 TS-0001-V3.15.1	Functional Architecture	application layer	comprises oneM2M Applications and related bus...
3 TS-0001-V3.15.1	Functional Architecture	attribute	stores information pertaining to the resource...
4 TS-0001-V3.15.1	Functional Architecture	child resource	sub-resource of another resource that is its ...

Рисунок 7 – Часть таблицы с определениями

```
for page in doc:
    for index, row in df_final.iterrows():
        text_instances = page.searchFor(row.term+':'+row.definition)
        for inst in text_instances:
            highlight = page.addHighlightAnnot(inst)
doc.save(filename+"_highlight.pdf", garbage=4, deflate=True, clean=True)
```

Рисунок 8 – Код для выделения определений в стандартах

<p>public verification key: credential that can verify digital signatures generated by a corresponding Private Signing Key, but which cannot be used to generate digital signatures</p> <p>raw public key certificate: certificate comprising only the SubjectPublicKeyInfo structure of an X.509 certificate that carries the parameters necessary to describe the public key [37]</p> <p>registration authority: functional entity responsible for verifying Certificate Signing Requests and authorizing a Certification Authority to issue a corresponding Certificate</p> <p>relative enrolment key identifier: part of the enrolment key identifier that is unique within the context of a M2M Enrolment Function</p> <p>security association establishment: sequential processing of credential configuration, association configuration and association security handshake between two entities</p> <p>security association establishment framework: security framework for security association establishment</p> <p>© oneM2M Partners Type 1 (ARIB, ATIS, CCSA, ETSI, TTA, TTC) Page 20 of 268 This is a draft oneM2M document and should not be relied upon; the final version, if any, will be made available by oneM2M Partners Type 1.</p>	<p>5.1.1 Identification and Authentication</p> <p>The Identification and Authentication function is in charge of identification and mutual authentication of CSEs and AEs.</p> <p>Identification is the process of checking if the identity provided for authentication is valid. How to perform an identification process will depend on the purpose of authentication. For example, in the case of resource access, the authentication function can require the identification to check if the AE or CSE has registered with the local CSE; in the case of AE or CSE registration, the authentication function can require the identification to check if the identity provided by an AE or CSE fits a certificate. Once passing this checking process, the AE or CSE is identified, and the identified identity will be supplied to authentication process.</p> <p>Authentication is the process of validating if the identity supplied in the identification step is associated with a trustworthy credential. How to perform an authentication process will depend on using which mutual authentication mechanism. For example, in the case of using certificate based authentication mechanism, the authentication function can require the authentication to verify a digital signature; in the case of using symmetric key based authentication mechanism, the authentication function can require the authentication to verify a Message Integrity Code (MIC). When this validating process has been completed, the AE or CSE is authenticated.</p>
---	--

Рисунок 9 – Результаты маркировки определений в стандарте

Результатом работы стала реализация модуля извлечения информации из промышленных стандартов на языке Python, который может значительно

облегчить последующую обработку извлечённых структурированных данных, что является ключевым этапом в накоплении и использовании новых знаний. В рамках дальнейших исследований предполагается разработка пользовательского интерфейса, с помощью элементов которого можно будет строить простые и сложные поисковые запросы, просматривать содержание стандартов и их взаимосвязь в виде графа.

Библиографический список

1. *The State of Knowledge Management* [Электронный ресурс] URL: <https://www.tsia.com/blog/the-state-of-knowledge-management-2015> (дата обращения: 20.03.2020).
2. Гостева Е. А., Ланин В. В. Задача интеллектуального поиска в промышленных стандартах // В кн.: Математика и междисциплинарные исследования – 2019 [Электронный ресурс]: материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием (г. Пермь, 15–18 мая 2019 г.). Пермь : ПГНИУ, 2019. С. 97-103.
3. *Standards for M2M and the Internet of Things* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.onem2m.org/> (дата обращения: 13.02.2020).
4. Xavier C., Lima V.L., Souza M. Open Information Extraction Based on Lexical-Syntactic Patterns // *Proceedings of the 2013 Brazilian Conference on Intelligent Systems*. 2013. P. 189-194.
5. *Defining Terms – Academic Phrasebank* [Электронный ресурс]. URL: <http://www.phrasebank.manchester.ac.uk/writing-definitions/> (дата обращения: 21.03.2020).
6. Manning C. D., Surdeanu M., Bauer J. The Stanford CoreNLP Natural Language Processing Toolkit // *52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations*. 2014. PP. 55-60.
7. *PyMuPDF Documentation* [Электронный ресурс]. URL: <https://pymupdf.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения: 23.03.2020).

MODULE DEVELOPMENT FOR INFORMATION EXTRACTION FROM INDUSTRIAL STANDARDS

Gosteva Ekaterina A., Lanin Viacheslav V.

National Research University Higher School of Economics, 38, Studencheskaya st.,
Perm, 614070, Russia, vlanin@live.com

Standards are part of the corporate knowledge of the company's business processes; they contain information on technological achievements and innovations in the subject area. However, the ever-growing volume of documents greatly complicated the process of finding the necessary information for a short time. According to the Technology Services Industry Association, inefficient knowledge sharing practices cost companies \$ 31.5 billion annually, employees spend 30% of their time searching for or reconstructing existing information, 74% of companies surveyed believe that the knowledge management system will increase their productivity by an average of 10 -40% [1]. In the process of solving this problem, a whole direction of “Information Extraction” appeared, the essence of which is to extract structured data from weakly structured or unstructured documents, which facilitates their subsequent processing and analysis. The need to create a system of semantic search and visualization of content of industrial standards was described in [2]; this paper describes the process of developing an information extraction module for a system intelligent search in industrial standards.

Keywords: standards, production standards, smart manufacturing, intelligent search.

ПОЛУЧЕНИЕ КОНТУРОВ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕТЕКТОРА КЕННИ И ПОСЛЕДУЮЩИМ РИСОВАНИЕМ С ПОМОЩЬЮ МАНИПУЛЯТОРА КУКА

Коротаев Вадим Андреевич, Курушин Даниил Сергеевич

Детский технопарк Кванториум Фотоника, 614007, Россия, г. Пермь,
ул. 25 Октября, 64

Статья посвящена одному из способов применения машинного зрения в области робототехники. В ней описан процесс получения контуров изображения детектором Кенни с последующим рисованием их манипулятором. В качестве манипулятора используется промышленный манипуляционный робот компании KUKA. Для операции рисования выбран канцелярский маркер, крепящийся к фланцу манипулятора через переходник, изготовленный посредством 3d печати. Рисование производится на листе оргстекла, закрепленном на сварочном столе вместе с самим манипулятором. Цель данной работы заключалась в демонстрации возможностей робота. В статье описан ход работы, приведены примеры результатов обработки детектором разных изображений, описан интерфейс приложения, продемонстрирован результат рисования манипулятором, описаны нюансы работы детектора Кенни. Также в статье предоставлена ссылка на репозиторий проекта.

Ключевые слова: KUKA, машинное зрение, детектор Кенни, манипулятор.

Введение

Была поставлена задача демонстрации возможностей манипуляционного робота KUKA. Для этого было принято решение рисования векторных изображений с помощью маркера. Маркер крепится к фланцу манипулятора через переходник, напечатанный на 3d принтере. В качестве материала для печати переходника использовался PLA пластик. Для работы манипулятора нужен код на языке KRL [1] который генерирует написанная программа. Программа конвертирует растровые изображения с помощью детектора Кенни [2] в векторные изображение, а затем в инструкции на языке KRL.

Ход работы

Для получения векторного изображения было написано приложение, которое использует детектор Кенни из библиотеки OpenCV [3]. Приведем пример растрового изображения, которое подается на вход (См. рисунок 1).

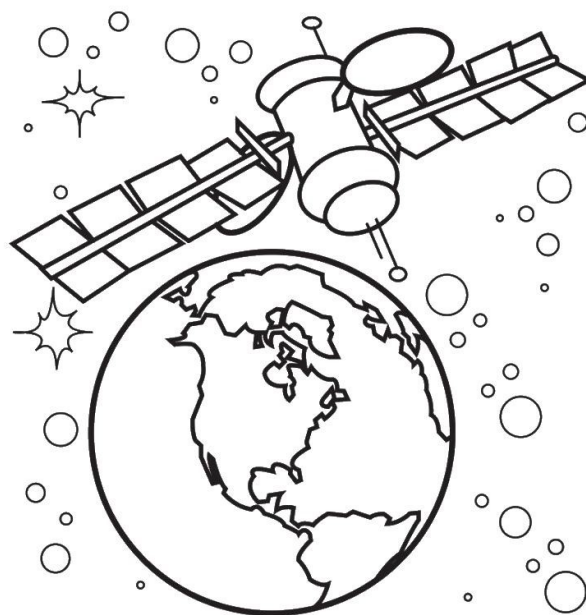


Рисунок 1 – Изображения для получения контуров

На рисунке 2 изображен интерфейс приложения и результат обработки изображения, подаваемого на вход.

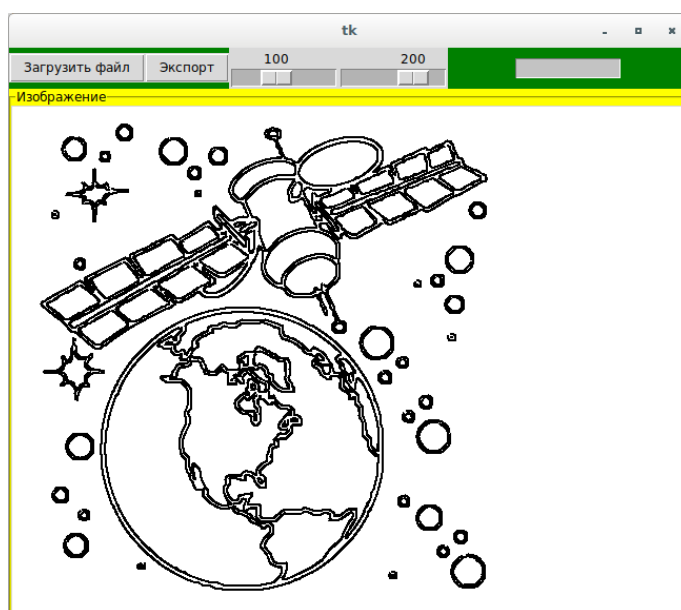


Рисунок 2 – Результат обработки изображения и интерфейс приложения

В центре на белом поле виден результат обработки изображения с рисунка 1.

Детектор Кенни рисует линии на границе 2 цветов. Можно сравнить границу планеты на рисунке 1 и рисунке 2. На втором рисунке две линии вместо одной.

Детектор Кенни возвращает массив линий. Каждая линия – это массив с координатами точки начала и точки конца.

При этом не обязательно использование исключительно черно-белых изображений (См. рисунки 3 и 4).



РОБОКВАНТУМ

Рисунок 3 – Исходное цветное изображение

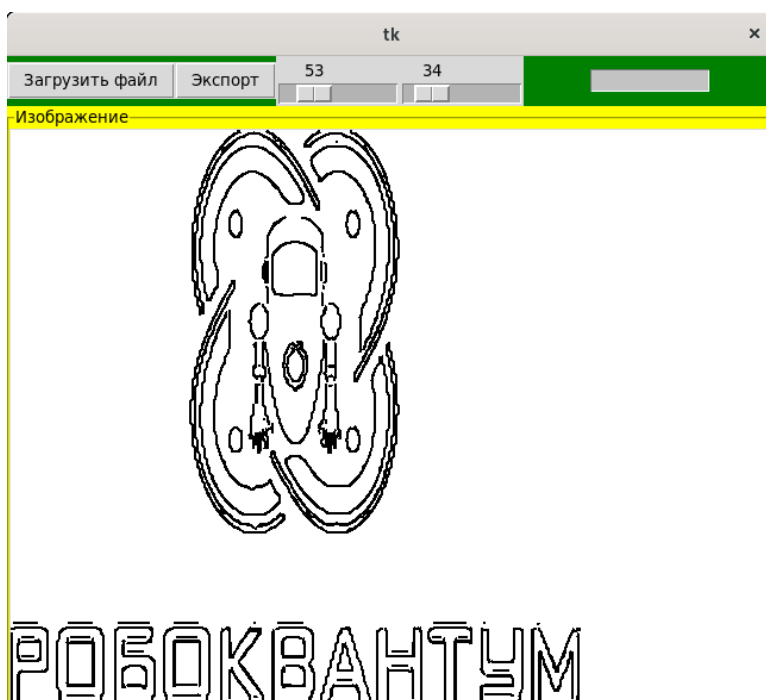


Рисунок 4 – Обработанное цветное изображение

В интерфейсе программы есть кнопка загрузки растрового изображения. Также два параметра отвечающих за регулировку детектора Кенни. Кнопка экспорт отвечает за перевод массива линий в инструкции на языке KRL. И вверху справа прогрессбар экспорта (См. рисунок 4).

Манипулятор KUKA может совершать перемещения в пространстве по линии. На языке KRL для перемещения по линии требуются определенные инструкции пример которых изображен на рисунке 5.

```

DECL LDAT LCPDAT5={VEL 2.00000,ACC 100.000,APO_DIST 500.000,APO_FAC
50.0000,AXIS_VEL 100.000,AXIS_ACC 100.000,ORI_TYP #VAR,CIRC_TYP #BASE,JERK_FAC
50.0000,GEAR_JERK 100.000,EXAX_IGN 0}
DECL E6POS XP6={X 1.0,Y 397.0,Z -17.64,A -180,B 0,C 180,S 2,T 10,E1 0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4
0.0,E5 0.0,E6 0.0}
DECL FDAT FP6={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE,POINT2[] " "}
DECL LDAT LCPDAT6={VEL 2.00000,ACC 100.000,APO_DIST 500.000,APO_FAC
50.0000,AXIS_VEL 100.000,AXIS_ACC 100.000,ORI_TYP #VAR,CIRC_TYP #BASE,JERK_FAC
50.0000,GEAR_JERK 100.000,EXAX_IGN 0}
DECL E6POS XP7={X 1.0,Y 397.0,Z -17.64,A -180,B 0,C 180,S 2,T 10,E1 0.0,E2 0.0,E3 0.0,E4
0.0,E5 0.0,E6 0.0}
DECL FDAT FP7={TOOL_NO 1,BASE_NO 0,IPO_FRAME #BASE,POINT2[] " "}

```

Рисунок 5 – Пример KRL кода

В инструкциях в качестве параметров передаются координаты точек в пространстве. В процессе экспорта мы берем координаты точек из массива линий, полученные в результате работы детектора Кенни и подставляем их в инструкции перемещения по линии на языке KRL [4]. Так как картинка состоит из двух координат (оси x,y), перемещение происходит в плоскости стола на котором установлен манипулятор. В интервале между рисуемыми линиями происходит подъем маркера от плоскости стола на фиксированную величину (ось z).

Задача обратной кинематики решается встроенным программным обеспечением KUKA.

В результате работы программы получаем код KRL, который необходимо запустить на манипуляторе KUKA (Ознакомиться с результатом, полученным в результате выполнения KRL кода манипулятором можно на рисунках 6 и 7).



Рисунок 6 – Результат выполнения KRL кода манипулятором KUKA



Рисунок 7 – Результат выполнения KRL кода манипулятором KUKA

Заключение

В результате работы мы представили возможности перемещения манипулятора и можем рисовать им любые изображения.

Возможно провести оптимизацию, убирающую дублирование линий, уменьшающую число линий и количество перемещений с поднятым маркером.

Библиографический список

1. KRL (programming language) // en.wikipedia.org URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/KRL_\(programming_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/KRL_(programming_language)) (дата обращения: 01.09.2020).
2. Canny Edge Detection // opencv.org URL: https://docs.opencv.org/trunk/da/d22/tutorial_py_canny.html (дата обращения: 01.09.2020).
3. opencv.org URL: <https://opencv.org/> (дата обращения: 01.09.2020).
4. github.com URL: <https://github.com/daniel-kurushin/kukodraw> (дата обращения: 01.09.2020).

GETTING IMAGE CONTOURS USING THE KENNY DETECTOR AND THEN DRAWING USING THE KUKA MANIPULATOR

Korotaev Vadim A., Kurushin Daniil S.

Children's Technopark Quantorium Photonics, 64, 25 Oktyabrya str., Perm, 614007,
Russia

The article is devoted to one of the ways of applying machine vision in the field of robotics. It describes the process of obtaining image contours with the Kenny detector and then drawing them with the manipulator. As a manipulator, an industrial manipulating robot of the KUKA company is used. For the drawing operation, a stationery marker is selected that is attached to the manipulator flange through an adapter made by 3d printing. Drawing is performed on a sheet of plexiglass fixed on the welding table together with the manipulator itself. The purpose of this work was to demonstrate the capabilities of the robot. The article describes the progress of work, provides examples of the results of processing different images by the detector, describes the application interface, demonstrates the result of drawing with the manipulator, and describes the nuances of the Kenny detector. The article also provides a link to the project repository.

Keywords: KUKA, machine vision, Kenny detector, manipulator.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ КОГНИТИВНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ГРАФОВ В ТРЕХМЕРНОМ ВИДЕ

Лизунов Михаил Олегович

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, novablast8@gmail.com

В данной статье рассматривается подход к визуализации графов в трехмерном виде. Основной областью применения визуализации выступает область лингвистических исследований. В качестве демонстрации работы построена визуализация графа медиа-событий. Для выбора алгоритма визуализации трехмерных графов рассмотрены дуговая диаграмма, радиальная визуализация и силовой алгоритм. В качестве алгоритма выбран силовой алгоритм. Рассматривается схема работы данного алгоритма. Экспериментально определяется количество итераций данного алгоритма. Продемонстрирована визуализация графа в трехмерном виде без применения силового алгоритма и с его использованием. Описан подход к программному выделению классов вершин на основе их близости после применения силового алгоритма, опирающийся на их координаты. Разработано веб-приложение, позволяющее визуализировать граф в трехмерном пространстве с применением описанных алгоритмов. Для интерактивного взаимодействия пользователя с приложением реализована поддержка орбитальной камеры и возможность выделения вершин и инцидентных им ребер.

Ключевые слова: графы, силовые алгоритмы визуализации, научная визуализация, SciVi, прикладная лингвистика.

На текущий момент количество данных, получаемых по всему миру, значительно возрастает. В связи с этим у исследователей появляется потребность в программных средствах для анализа данных, в частности, визуального анализа, которые помогут оптимизировать процесс проведения исследований. Одной из задач, решаемых при помощи визуального анализа, является исследование многомерных данных, представленных в виде графа. Данные графы могут иметь сложную структуру, которая не позволяет тривиальным образом разбить граф на подграфы.

Основной проблемой при отображении таких графов является большое количество элементов, подлежащих визуализации. При неаккуратной визуализации можно получить изображение, из которого невозможно выделить

какую-либо дополнительную информацию, что приводит к нерепрезентативности отображения.

В качестве области применения визуализации будет выступать область лингвистических исследований. В процессе данных исследований строится концептуальный граф, подлежащий визуализации. Каждая вершина таких графов представляет собой некоторый концепт, имеющий вес в наборе текстов. Ребра представляют собой связь между концептами. Ранее для визуального анализа данных высокой связности был разработан ряд модулей для адаптивной мультиплатформенной системы научной визуализации SciVi, обеспечивающих отображение графов в двухмерном виде [1-2]. В качестве графа, на примере которого будет построена визуализация, будет выступать граф медиа-событий, представленных российским СМИ в течении года [3]. Обозначим концептуальную близость как основной критерий репрезентативности визуализации. Тогда следует визуализировать вершины так, чтобы связанные концепты отображались близко друг к другу. В то же время вершины, которые не имеют близости соответствующих концептов, должны находиться как можно дальше.

Для выбора основы алгоритма визуализации трехмерных графов рассмотрены следующие подходы к отображению:

1. Дуговая диаграмма [4]. При данном виде визуализации вершины графа располагаются на одной прямой, а ребра представляются в виде дуг. Причем каждая дуга находится в отдельной плоскости, без пересечения ребер. Использование данного типа визуализации дает плохие результаты при большом количестве ребер по причине близкого расположения дуг.
2. Радиальная визуализация [5]. Вершины отображаются на диаметральной плоскости сферы, ребра отображаются при помощи дуг, лежащих на этой сфере. Для данного вида визуализации характерно большое количество пересечений дуг.
3. Силовые алгоритмы визуализации [6]. Граф отображается случайным образом, после чего происходит изменение координат вершин на основе их характеристик и текущего расположения, что является методом квази-физических аналогий.

Проанализировав рассмотренные способы визуализации, принято решение использовать метод, основанный на силовых алгоритмах визуализации. Представим, что каждая вершина является точкой в трехмерном пространстве.

Рассмотрим взаимодействие между двумя вершинами. Если вершины соединены ребром, тогда данные вершины должны притягиваться. Причем вершина с меньшим весом должна притягиваться к вершине с большим весом, пропорционально весу и обратно пропорционально расстоянию между ними. Это сделано для того, чтобы центром подграфа выступала наиболее тяжелая вершина. Если же вершины не соединены ребром, то они должны отдаляться друг от друга пропорционально их весам и обратно пропорционально квадрату расстояния между ними. В этом случае каждая вершина влияет на каждую другую некоторым вектором силы.

Для расчета вектора движения каждой вершины следует просуммировать вектора сил, при помощи которых другие вершины влияют на текущую. Таким образом, с учетом полученной информации, можно провести моделирование процесса движения. Моделирование будет зависеть от количества эпох, то есть итераций, при которых происходит перерасчет векторов движений и изменение координат вершин.

Экспериментально установлено, что для текущего алгоритма оптимальным количеством эпох является 40. При меньшем количестве эпох визуализация графа обладает излишней кучностью вершин, в то время как при большем количестве эпох происходит слишком малое изменение координат, слабо влияющее на визуализацию. Опишем схему работы данного алгоритма:

Шаг 1. Определить координаты вершин случайным образом.

Шаг 2. Зафиксировать количество эпох равное 40.

Шаг 3. Рассчитать для каждой пары вершин взаимовлияющие вектора сил.

Шаг 4. Просуммировать вектора сил для каждой вершины, чтобы получить вектора движения.

Шаг 5. Изменить координаты вершин в соответствии с вектором движения.

Шаг 6. Уменьшить количество эпох моделирования на 1.

Шаг 7. Если количество эпох равно нулю, тогда завершить выполнение алгоритма, иначе перейти к шагу 2.

Ниже приведен результат работы данного алгоритма. На рисунке 1 продемонстрирована визуализация со случайным определением координат вершин. На рисунке 2 представлен результат с применением рассмотренного алгоритма.

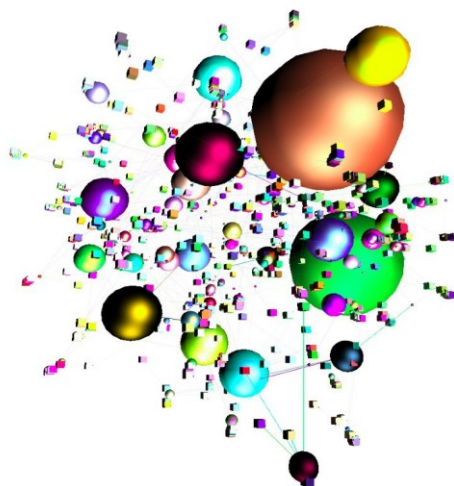


Рисунок 1 – Визуализация случайного расположения вершин



Рисунок 2 – Визуализация с применением силового алгоритма

Отметим, что большинство вершин, после применения алгоритма, можно расположить на трехмерной поверхности, близкой к сферической. Также следует обратить внимание на то, что при визуализации появляется много подграфов, для которых вершины отображены близко друг к другу.

Опираясь на данную визуализацию, можно получить классы вершин на основе их близости. Опишем алгоритм для программного определения близости вершин. Выделим вершину графа с наибольшим весом и рассмотрим расстояния от нее до других вершин. Для нее следует найти такую пару соседних вершин в отсортированном по расстоянию порядке, чтобы расстояние между ними было намного больше, чем расстояние между изначальной вершиной и ближайшей к ней из пары. На основе этого можно утверждать, что выделенная пара вершин находится в разных классах близости, а все вершины с меньшим расстоянием находятся в одном и том же классе, что позволяет определить класс близости для некоторого подмножества графа. Данный алгоритм следует выполнять пока не останется подграф, для вершин

которого можно гарантировать обособленность и непринадлежность одному классу близости. Это достигается путем установки порогового значения расстояния.

Для демонстрации работы алгоритмов реализовано веб-приложение, которое считывает файл с данными о модели графа и визуализирует его в трехмерном виде. Для разработки данного приложения использован язык TypeScript [7], для сборки кода использовалась утилита browserify, а для работы с графикой – библиотека three.js [8]. В целях обеспечения интерактивного взаимодействия пользователя с приложением реализована поддержка орбитальной камеры, реализована функциональность, позволяющая при нажатии на вершину выделять ее, инцидентные ей ребра и соседние вершины определенным цветом. Данное веб-приложение войдет в качестве модуля в состав адаптивной мультиплатформенной системы научной визуализации SciVi.

Библиографический список

1. *SciVi.Tools* [Электронный ресурс]. URL: <https://scivi.tools/> (дата обращения 13.03.2020).
2. Рябинин К.В., Белоусов К.И., Чуприна С.И., Щебетенко С.А., Пермяков С.С. Средства визуальной аналитики для комплексного исследования результатов многопараметрического описания пользователей социальных интернет-сервисов // Научная визуализация. – М.: Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2018. – К. 3, Т. 10, №4. – С. 82–99. DOI: 10.26583/sv.10.4.07.
3. Belousov K., Baranov D., Galinskaia T., Ponomarev N., Zelyanskaya N. Using Machine Learning and Visualization Tools to Monitor National Media // Smart Innovation, Systems and Technologies. Innovation in Medicine and Healthcare Systems, and Multimedia. 2019. V. 145. PP. 481-490. DOI: 10.1007/978-981-13-8566-7_44.
4. Jeffrey Heer, Michael Bostock, Vadim Ogievetsky. A tour through the visualization zoo // Communications of the ACM., 2010. V. 53, PP 59–67. DOI: 10.1145/1743546.1743567.
5. F. Dai, Y. Zhu, and R. Maitra, Three-dimensional radial visualization of High-dimensional Continuous or Discrete Datasets [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/abs/1904.06366> (дата обращения 14.03.2020).
6. Hu, Yifan.. Efficient and high quality force-directed graph drawing. // Mathematica Journal., 2006, V. 10, PP 37–71.
7. *Typescript* // *Microsoft* [Электронный ресурс]. URL: <https://www.typescriptlang.org/> (дата обращения 13.03.2020).

8. *Three.js* – *JavaScript 3D Library* [Электронный ресурс]. URL: <https://threejs.org/> (дата обращения 13.03.2020).

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR COGNITIVE VISUALIZATION OF GRAPHS IN THREE-DIMENSIONAL FORM

Lizunov Mikhail O.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia,
novablast8@gmail.com

This article considers approaches to graph visualization in three-dimensional form. To select the basis of visualization algorithm for three-dimensional graphs we considered an arc diagram visualization, radial visualization and force-directed algorithm. The force-directed algorithm was chosen as basis for the algorithm. The scheme of an algorithm was presented. The number of iterations of this algorithm is determined experimentally. Visualization of the graph in three-dimensional form with and without use of an algorithm is demonstrated. An algorithm for graph's vertices classification was presented. This algorithm is based on coordinates after force-directed algorithm completion. A web-application has been developed that allows visualizing the graph in three-dimensional space using described algorithms. For user-interaction with the application support for the orbital camera was implemented.

Keywords: graphs, force-directed visualization, scientific visualization, SciVi, applied linguistics.

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ УЧЕБНО-ЛАБОРАТОРНЫХ
ВИРТУАЛЬНЫХ ПРАКТИКУМОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА» НА ОСНОВЕ
СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Могильников Андрей Вячеславович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29,
mogilnikov.andrej@mail.ru

Исследована работа электрической блок-схемы модели однофазного мостового управляемого выпрямителя, построенной на базе силовых полупроводниковых преобразователей, используемых в системах автоматизированного электропривода и электроснабжения, в зарубежной программной среде MatLab/Simulink и отечественной среде SimInTech. Произведен анализ и выбор программных средств имитационного моделирования. Определены основные функции и задачи, выполняемые на виртуальном стенде. Результатом работы является разработанный комплекс учебно-лабораторных виртуальных практикумов по дисциплине «Преобразовательные устройства», которые в дальнейшем могут использоваться при проведении лабораторных занятий.

Ключевые слова: имитационное моделирование, программное обеспечение, MatLab/Simulink, SimInTech, преобразовательные устройства, силовые полупроводниковые преобразователи.

Введение

На сегодняшний день компьютерное моделирование является одним из эффективных методов изучения сложных систем и процессов их функционирования.

Компьютерные модели проще и удобнее в силу их возможности проводить исследования в тех случаях, когда натурные эксперименты, требующие применения технологического оборудования, затруднены. Использование таких рабочих моделей практически превращает компьютер в универсальную экспериментальную установку, которая позволяет получать и обрабатывать большое количество информации и исследовать результаты на изменения её параметров и начальных условий.

В качестве объекта исследования были выбраны силовые полупроводниковые преобразователи (далее СПП), используемые в системах

автоматизированного электропривода и электроснабжения. Главной задачей использования преобразовательных устройств является повышение качества вырабатываемой электроэнергии при её передаче и распределении, а также преобразование параметров этой электроэнергии, подаваемой на двигатель, для повышения общей эффективности его работы [1, с. 3].

Актуальность разработки и использования учебно-лабораторных виртуальных практикумов (далее У-ЛВП), а именно создания виртуальных компьютерных моделей СПП в современных системах имитационного моделирования обусловлена рядом причин [2, с. 49]:

- необходимостью изучения их поведения в составе сложных электротехнических систем и возможностью визуально-измерительного контроля всех параметров и протекающих в них процессах;
- возможностью работы в дистанционном режиме;
- созданием ситуаций, недопустимых в физических установках, например, аварийных режимов в электрической цепи, без материального ущерба;
- тем фактом, что изготовление физических лабораторных стендов, которые требуют применения дорогостоящего технологического оборудования, является на сегодняшний день весьма затратным.

Системы непрерывного имитационного моделирования дают возможность беспрепятственно осуществить практически любую поставленную задачу исследования СПП и разрешить проблему экономического характера [2]. Стоит также подчеркнуть, что У-ЛВП не замещают лабораторных исследований на физических стендах, а дополняют их.

Анализ и выбор программных средств имитационного моделирования

В качестве рассматриваемых программных обеспечений (ПО) были выбраны две среды – MatLab/Simulink и SimInTech. В результате изучения сред динамического моделирования технических систем [3] [4] была составлена таблица характеристик рассмотренных программ.

Таблица 1 – Сравнительный анализ рассмотренных программ

Наименования (функции, задачи, возможности)	MatLab/Simulink	SimInTech
ПО	Зарубежное	Российское
Удовлетворяет ли системным требованиям одноплатного ПК	Превышает требуемый объём памяти на диске	Да
Стоимость лицензии	95 \$ за MatLab + 29 \$ за каждый дополнительный тулбокс; цена студенческого пакета – 55 \$ (просто MatLab обойдётся в 29 \$) + дополнительные инструменты по 6 \$ за каждый	Бесплатное ПО для сотрудников ВУЗа и студентов
Наличие библиотек визуального моделирования	Да	Да
Открытость/закрытость моделей	Закрытость моделей используемых элементов, что не позволяет судить об используемых в них допущения и упрощениях	Открытость; принцип вложенности структур (глубина вложенности неограниченная)
Цифровая обработка сигналов	Полная	Частичная
Скорость расчёта сложных моделей	Низкая	Высокая

По данным таблицы видно, что система SimInTech является наиболее подходящей по системным требованиям и возможностям. Также выбор этой среды удовлетворяет наметившейся государственной экономической политике импортозамещения в области информационных технологий в части ПО.

Виртуальный стенд однофазного мостового преобразователя

На рисунке 1 приведена электрическая блок-схема модели однофазного мостового преобразователя, реализованная в среде системы SimInTech.

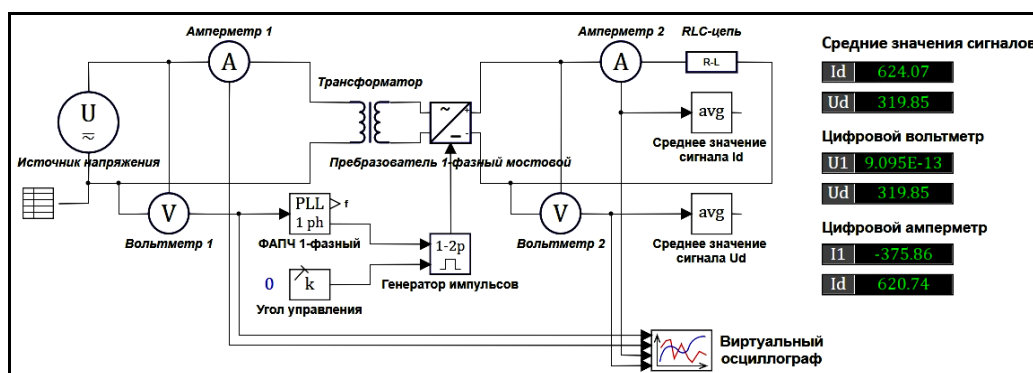


Рисунок 1 – Электрическая блок-схема модели однофазного мостового выпрямителя в среде SimInTech

Силовая часть преобразователя [1, с. 18] представлена на рис. 1 блоком *однофазного двухобмоточного трансформатора*, который подаёт питание на входные клеммы блока *однофазного мостового тиристорного преобразователя*. Якорная цепь двигателя постоянного тока моделируется *RLC-цепью*, состоящей из *R, L* элементов и подключённой между выходными

клеммами *тиристорного преобразователя*. Система импульсно-фазового управления представлена блоком *генератора управляющих импульсов* для однофазного выпрямителя, на первый вход которого поступает сигнал с блока, реализующего модель устройства *фазовой автоподстройки частоты* для однофазного сигнала, а на второй вход – сигнал с блока, формирующего на выходе заданную пользователем постоянную величину угла управления α (на рис. 1 изображено $\alpha = 0^\circ$).

Электропитание исследуемого преобразователя моделируется посредством блока *источника напряжения*, выходной сигнал которого подаётся на вход однофазного трансформатора.

Измерение мгновенных значений напряжений между узлами схемы и токов в цепи осуществляется через блоки *вольтметр 1(2)* и *амперметр 1(2)* соответственно, сигналы которых поступают на блок *виртуального осциллографа* для отображения текущих результатов моделирования в виде временных зависимостей. Вычисление средних значений входных сигналов тока нагрузки и напряжения на нагрузке реализуется блоками *среднее значение сигнала Id* и *среднее значение сигнала Ud*.

Все выходные сигналы фиксируются цифровыми датчиками с добавлением отображений измеряемых величин.

Значения величин вводятся в окнах настройки (рисунок 2), где приводятся все параметры каждого блока в отдельности. Значения параметров заносятся либо в рассчитанном виде, либо с помощью математических формул, что значительно упрощает работу.

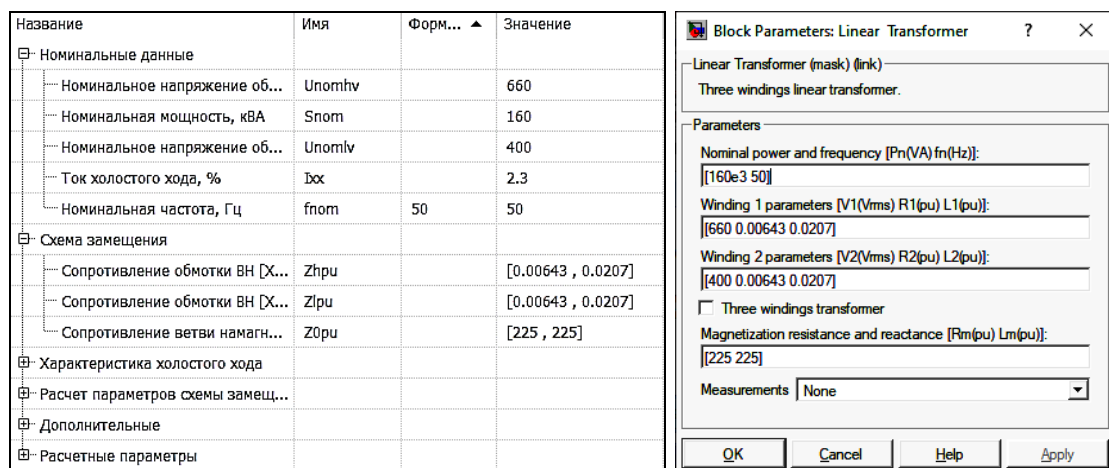


Рисунок 2 – Окно настройки параметров однофазного трансформатора в среде SimInTech (слева) и в среде MatLab (справа)

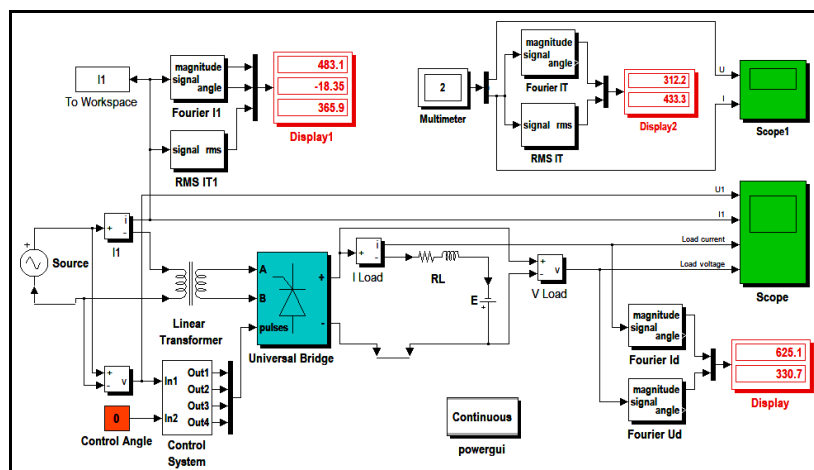


Рисунок 3 – Электрическая блок-схема модели однофазного мостового выпрямителя в среде MatLab

Также для сравнения на рисунке 3 приведена блок-схема, реализованная в среде MatLab [1]. Структура и функционал модели практически идентичны структуре и функционалу модели, представленной выше, за исключением отдельно взятых блоков.

Основные функции и задачи, выполняемые на виртуальном стенде

Виртуальная установка позволяет произвести целый ряд разнообразных задач: во-первых, получить выходные временные характеристики исследуемого преобразователя (см. рис. 4), во-вторых, получить внешние, регулировочные и энергетические характеристики, варьируя в широких пределах параметры и условия экспериментов, в-третьих, получить полный спектральный и гармонический анализ смоделированных сигналов [2, с. 51].

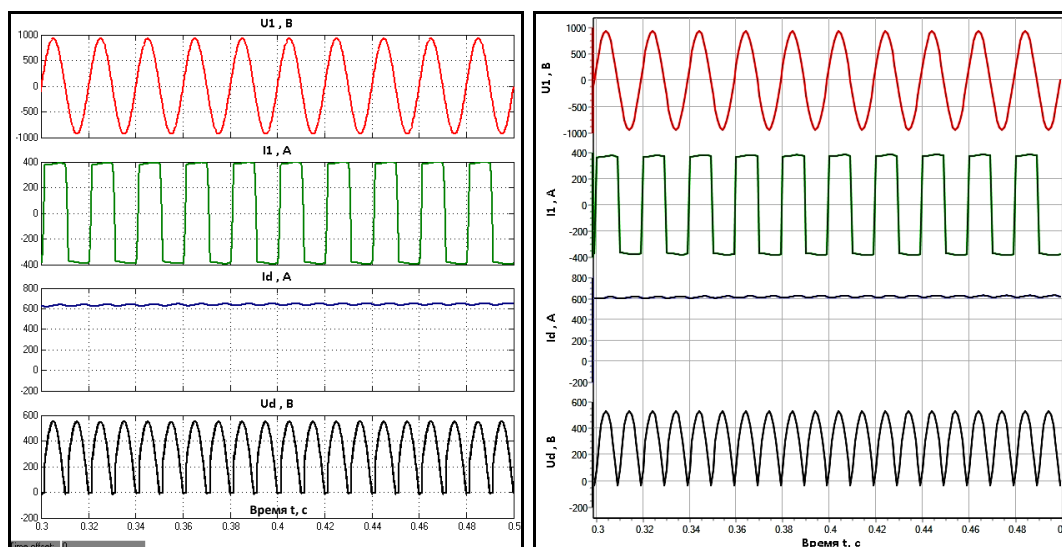


Рисунок 4 – Осциллограммы напряжения и тока источника, тока нагрузки и напряжения на нагрузке (сверху вниз соответственно) в среде MatLab (слева) и в среде SimInTech (справа)

Также на примере данной блок-схемы можно проследить за работой специальных устройств – сглаживающих фильтров, предназначенных для подавления пульсаций выпрямленного напряжения [5, с. 34, 112].

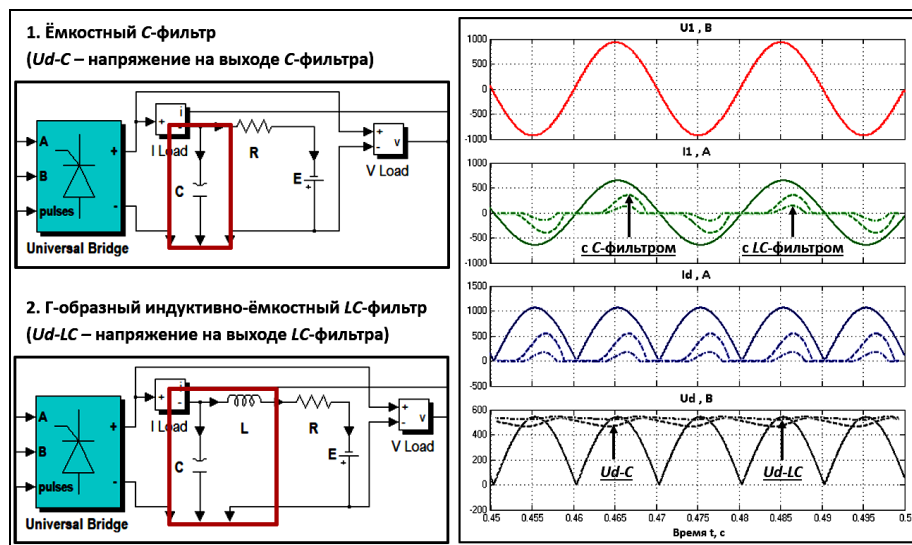


Рисунок 5 – Основные схемы сглаживающих фильтров питания и эпюры напряжений и токов

На рисунке 5 представлены варианты реализации основных устройств на примере однофазного мостового выпрямителя с активной нагрузкой и временные диаграммы на выходе ёмкостного и Г-образного индуктивно-ёмкостного фильтров. Как можно заметить, наилучшее действие оказывает второй вариант схемы. Данный фильтр обладает лучшими фильтрующими свойствами.

Заключение

Современные программные средства непрерывного имитационного моделирования позволяют провести исследование структур и функций реальных процессов любой сложности и с любой степенью детализации в режиме реального времени. Проведение экспериментов на виртуальных стендах обеспечивает полный контроль за всеми параметрами систем в целом.

Разработка подобных У-ЛВП [1, с. 87] по дисциплине «Преобразовательные устройства» предоставляет студентам технических специальностей возможность самостоятельно изучать, моделировать и исследовать СПП с помощью современных программных средств имитационного моделирования.

Библиографический список

1. О니щенко Г.Б. Силовая электроника. Силовые полупроводниковые преобразователи для электроприводов и электроснабжения: учеб. пособие / Г.Б. Онищенко, О.М. Соснин. М.: ИНФРА-М, 2016. 122 с.

2. Могильников А.В., Билоус О.А. Исследование моделей силовых полупроводниковых преобразователей в пакете MATLAB/SIMULINK // Научно-технический вестник Поволжья. 2020. №1. С. 49-52.
3. Введение в работу с программным обеспечением [Электронный ресурс] URL: https://help.simintech.ru/doc/SimInTech_Start_guide_Part_1.pdf (дата обращения: 20.09.2020).
4. Худяков В. Виртуальные лаборатории устройств силовой электроники в среде MATLAB-Simulink. Урок 1. Основные инструментарии Simulink // Силовая электроника. 2005. №1. С 108-115.
5. Билоус О.А. Электронные преобразовательные устройства: учеб. пособие / О.А. Билоус, А.П. Иванов. Пермь: Изд-во Пермского гос. технического ун-та, 2010. 212 с.

**DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF TEACHING AND
LABORATORY VIRTUAL PRACTIC WORKS IN THE DISCIPLINE OF
«CONVERTER DEVICES» BASED ON MODERN SOFTWARE
SIMULATION TOOLS**

Mogilnikov Andrey V.

Perm National Research Politechnical University, Komsomolsky Av. 29, Perm,
Russia, 614000, mogilnikov.andrej@mail.ru

The operation of the electric block-circuit of a single-phase bridge controlled rectifier based on power semiconductor convertors used in automated electric drive and power supply systems has been investigated using the foreign software environment MatLab/Simulink and the domestic environment SimInTech modeling. The analysis and selection of software tools for simulation has been made. The main functions and tasks performed on a virtual stand are defined. The result of the work is a developed set of teaching and laboratory virtual practice works in the discipline of «Converter devices», which can be used in the future during laboratory classes.

Keywords: simulation modeling, software, MatLab/Simulink, SimInTech, converter devices, power semiconductor converters.

СИСТЕМА НАУЧНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ НА КРИСТАЛЛЕ ДЛЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ИНТЕРАКТИВНЫХ МУЗЕЙНЫХ ЭКСПОНАТОВ

Рябинин Константин Валентинович

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, kostya.ryabinin@gmail.com

Колесник Мария Александровна

Пермский краеведческий музей, 614000, Россия, г. Пермь, ул. Монастырская,
д. 11, kolesnik.ma@outlook.com

Данная работа посвящена разработке методов и средств автоматизации создания программно-аппаратных виртуальных интерактивных музейных экспонатов с осязаемым пользовательским интерфейсом на основе платформы научной визуализации SciVi и систем на кристалле Raspberry Pi / Orange Pi. Разработанные методы и средства применены на практике при создании выставки «Превращения» в Детском музейном центре (филиал Пермского краеведческого музея) и служат для внедрения концепции «умного музея» в Пермском крае.

Ключевые слова: умный музей, научная визуализация, осязаемый пользовательский интерфейс, интерактивный музейный экспонат, системы на кристалле, Raspberry Pi, Orange Pi.

Проникновение информационных технологий в сферу музейного дела привело к возникновению концепции т. н. «умного музея» (англ. Smart Museum) [1]. Эта концепция предполагает дополнение реальных музейных предметов разнообразным виртуальным контентом, встроенным непосредственно в экспозицию и доступным для посетителей через специализированный человеко-машинный интерфейс. Важной особенностью, отличающей «умный музей» от обычного набора мультимедийных стендов (например, сенсорных информационных панелей) является глубокая интеграция виртуальных элементов с реальной экспозицией. Виртуальный контент не должен оттягивать на себя излишнее внимание посетителя, нарушать восприятие реальных экспонатов или выбиваться из художественной стилистики выставки. Взаимодействие с ним должно быть максимально естественным для посетителя, но при этом давать посетителю некоторый новый опыт, отличный от

привычной работы на компьютере (иначе физический визит в музей не будет отличаться от посещения Интернет-сайта из дома). Удачным вариантом решения задачи организации такого взаимодействия являются т. н. «осязаемые интерфейсы» (англ. Tangible User Interfaces) [2], обеспечивающие управление виртуальным контентом через его физические аватары.

Мы предлагаем реализацию осязаемых интерфейсов в среде умного музея посредством применения технологий Интернета вещей (англ. Internet of Things) [3]. В этом случае за взаимодействие с посетителем отвечает набор датчиков, регистрирующих те или иные действия человека, а виртуальный контент, управляемый сигналами с датчиков, отображается либо на стационарных экранах, либо на мобильных устройствах посетителей [3]. За программную часть визуализации и взаимодействия с датчиками отвечает онтологически управляемая платформа научной визуализации SciVi [3]. Она автоматизирует большую часть действий, связанных с генерацией прошивок для управляющих датчиками микроконтроллеров и созданием клиентских программ для отображения виртуального контента.

В рамках данной работы мы адаптировали платформу SciVi для работы с системами на кристалле, объединяющими в себе функциональность визуализаторов и аппаратных контроллеров датчиков осязаемого интерфейса. Системы на кристалле (в частности, одноплатные микрокомпьютеры) оказываются очень удобны для организации виртуального музейного контента в форме автономных модулей, не требующих ни стационарных компьютеров, ни развёрнутой сети. Кроме этого, такие системы дешёвы в построении (стоимость значительно ниже, чем у миниатюрных компьютеров), просты в эксплуатации (могут запускаться и останавливаться простой подачей/отключением питания) и достаточно легки в обслуживании (всё программное обеспечение хранится на SD-карте, для которой легко сделать резервную копию).

Системы на кристалле активно входят в мировую музейную практику [4], а также используются для построения программно-аппаратных комплексов, автоматизирующих проведение экскурсий [5]. Отличительной особенностью нашего подхода является автоматическая генерация программного обеспечения для системы на кристалле, осуществляемая платформой SciVi по заданным высокоуровневым онтологическим описаниям [3]. Генерируемое программное обеспечение включает в себя как взаимодействие с аппаратной частью осязаемого интерфейса, так и модули научной визуализации для отображения виртуального контента.

В качестве аппаратной платформы предлагается использовать наиболее популярные и дешёвые одноплатные компьютеры: Raspberry Pi или Orange Pi.

Следует отметить, что с точки зрения надёжности, производительности и лёгкости настройки лидирует Raspberry Pi, однако Orange Pi выигрывает по цене. Система SciVi полностью автоматизирует создание всех установочных скриптов для сгенерированного программного обеспечения, что практически нивелирует различия в настройке между Raspberry Pi и Orange Pi. В связи с этим, в условиях ограниченного бюджета предпочтение зачастую отдаётся Orange Pi.

Платформа SciVi генерирует программный модуль SciVi Renderer, реализующий в себе всю логику работы виртуального экспоната. Для доступа к оборудованию осязаемого интерфейса он использует функции ядра операционной системы (например, системный вызов *ioctl* для взаимодействия с шиной SPI), а для визуализации – библиотеку Mesa (со стандартом визуализации OpenGL ES, имеющим в системе на кристалле аппаратную поддержку).

Предлагаемый подход был проверен на практике при создании трёх интерактивных экспонатов для выставки «Превращения» в Детском музейном центре (филиал Пермского краеведческого музея), посвящённой теме круглых форм в природе, культуре и искусстве.

Первый экспонат – «Правило Аллена» – демонстрирует экогеографическое правило Аллена [6] о том, что теплокровные животные, обитающие в полярных широтах, имеют более округлую форму тела по сравнению с представителями тех же семейств, живущими ближе к экватору. Это связано с необходимостью минимизировать площадь поверхности тела, сократив, тем самым, теплопотери в более холодном климате. Экспонат представляет собой схематичную карту, на которой при помощи специального рычага посетитель может выбрать интересующую широту. Рычаг соединён с потенциометром, определяющим его положение и передающим данные через аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) MCP3201 на Orange Pi, в соответствии с чем на размещённом рядом экране автоматически в реальном времени строится образ «усреднённого» млекопитающего животного, обитающих на этой широте. Результаты визуализации «полярной» и «экваториальной» форм животных показаны на рис. (а, б).

Второй экспонат – «Теплоладошкомер» (временное название) – демонстрирует, что, когда становится холодно, теплокровные животные сворачиваются в клубок, уменьшая тем самым площадь соприкосновения с окружающей средой. Экспонат представляет собой термодатчик, скрытый под теплопроводящей металлической пластиной, которую посетитель может нагреть рукой. На размещённом рядом экране отображается свернувшееся в клубок спящее животное, которое просыпается, разворачивается и встаёт в

полный рост, когда температура, регистрируемая датчиком, увеличилась. Результаты визуализации спящего и проснувшегося животного приведены на рис. (в, г). Следует отметить, что анимированная 3D-модель животного для обоих экспонатов была создана с использованием 3D-редактора Blender с нуля одним из авторов статьи специально для выставки «Превращения».

Третий экспонат – «Построитель роз» – демонстрирует математическую кривую «роза» (гипо- и эпитрохоида), которая строится в полярных координатах по формуле $r = \cos \frac{n}{d} \varphi$. Посетитель может менять параметры n и φ , вращая две ручки, связанных с потенциометрами. Потенциометры, в свою очередь, через АЦП MCP3008 связаны с Orange Pi, где и происходит построение кривой. Параметры выражены натуральными числами и меняются в интервале $\overline{1,10}$. Результат визуализации кривой для параметров $n = 3, d = 5$ представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Визуализация виртуальных музейных экспонатов посредством модуля SciVi Renderer

Успешное и быстрое внедрение виртуальных экспонатов на выставке «Превращения» подтвердило жизнеспособность предложенного подхода и разработанных программных средств.

Библиографический список

1. *Piccialli, F., Chianese, A.* Designing a Smart Museum: when Cultural Heritage Joins IoT // Eighth International Conference on Next Generation Mobile Apps, Services and Technologies, 2014. DOI: 10.1109/NGMAST.2014.21.
2. *Ishii, H.* Tangible Bits: Beyond Pixels // Proceedings of the 2nd International Conference on Tangible and Embedded Interaction, 2008. PP. XV–XXV. DOI: 10.1145/1347390.1347392.
3. *Ryabinin, K., Kolesnik, M., Akhtamzyan, A., Sudarikova, E.* Cyber-Physical Museum Exhibits Based on Additive Technologies, Tangible Interfaces and Scientific Visualization // Scientific Visualization, 2019. Vol. 11, No. 4, Q. 3. PP. 27–42. DOI: 10.26583/sv.11.4.03.
4. *Rossetti, V., Furfari, F., Leporini, B., Pelagatti, S., Quarta, A.* Enabling Access to Cultural Heritage for the Visually Impaired: an Interactive 3D Model of a Cultural Site // Procedia Computer Science, 2018. Vol. 130. PP. 383–391. DOI: 10.1016/j.procs.2018.04.057.

5. *Diallo, A. D., Gobe, S., Durairajah, V.* Autonomous Tour Guide Robot Using Embedded System Control // *Procedia Computer Science*, 2015. Vol. 76. PP. 126–133. DOI: 10.1016/j.procs.2015.12.302.
6. *Allen, J. A.* The Influence of Physical Conditions in the Genesis of Species // *Radical Review*, 1877. Vol. 1. PP. 108–140.

SCIENTIFIC VISUALIZATION SYSTEM ON A CRYSTAL FOR VIRTUAL INTERACTIVE MUSEUM EXHIBITS

Ryabinin Konstantin V.

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

Kolesnik Mariia A.

Perm Regional Museum / branch Museum of Permian Antiquities, 11,
Monastyrskaya st., Perm, Russia, 614000, kolesnik.ma@outlook.com

This paper is devoted to the methods and means development for automating the implementation of hardware/software virtual interactive museum exhibits with tangible user interface based on SciVi scientific visualization platform and Raspberry Pi / Orange Pi systems on crystals. Methods and means developed are utilized in practice by creating the "Transmutations" exhibition within Kidsmuseum, branch of Perm Regional Museum, whereby Smart Museum concept starts spreading in Perm Krai.

Keywords: Smart Museum, Scientific Visualization, Tangible User Interface, Interactive Museum Exhibit, System on a Crystal, Raspberry Pi, Orange Pi.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КРОСС-ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ПЕРЕХОДОВ МЕЖДУ ДВУМЯ ПРОИЗВОЛЬНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Толов Ярослав Филиппович

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, yaroslav.tolov@gmail.com

Данная работа содержит анализ и сравнение трех значительно отличающихся подходов к генерации переходной (или смешанной) поверхностей между двумя произвольными. Подходе, основанном на сферической параметризации, на методе наименьших квадратов и на решении транспортной задачи. Дополнительно для каждого подхода были приведены основные шаги реализации данного подхода. В заключении приведено сравнение реализаций рассмотренных подходов с точки зрения трех критериев: их ограничений на вид допустимых поверхностей, автоматизированности и возможности параллельного выполнения. Данная работа адресована студентам, желающим разобраться в теме морфинга и познакомиться с наиболее общими и эффективными подходами.

Ключевые слова: морфинг, кросс-параметризация, компьютерная графика, смещение форм, генерация полигональных сеток, сферическая параметризация, метод наименьших квадратов

Введение

Для качественного отображения сложной анимации трёхмерных объектов часто необходимо бывает решить задачу морфинга – визуального превращения одной поверхности в другую. Например, при изображении виртуальных персонажей в кинематографическом качестве, требуется моделировать натяжение и сжатие кожи в такт напряжению и расслаблению мышц, возникновение складок на одежде вследствие изменения позы персонажа и т.п. В научной визуализации трансформация геометрических форм требуется для отображения процессов изменения объектов с течением времени, например, при демонстрации онтогенеза [1]. В системах визуализации поверхности чаще всего представляются в виде полигональных сеток.

Полигональная сетка состоит из вершин, которые задают ее геометрическую форму. Для генерации переходной полигональной сетки из двух исходных требуется установить взаимно-однозначное соответствие между ее вершинами. Процесс установления этого соответствия называется кросс-

параметризацией. Данная статья содержит анализ методов установления взаимно-однозначного отображения между двумя полигональными сетками (кросс-параметризации).

Постановка задачи

Представим полигональную сетку как набор точек $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{|V|}\}$, где положение каждой точки v_i задается набором координат $(x_i, y_i, z_i) \in R^3$. Требуется для двух полигональных сеток V_s и V_t установить отображение $F: V_s \rightarrow V_t$. Полученное отображение можно использовать для генерации можно использовать для генерации переходных полигональных сеток между V_s и V_t путем линейной интерполяции между положениями соответствующих вершин.

Метод 1: Сферическая параметризация

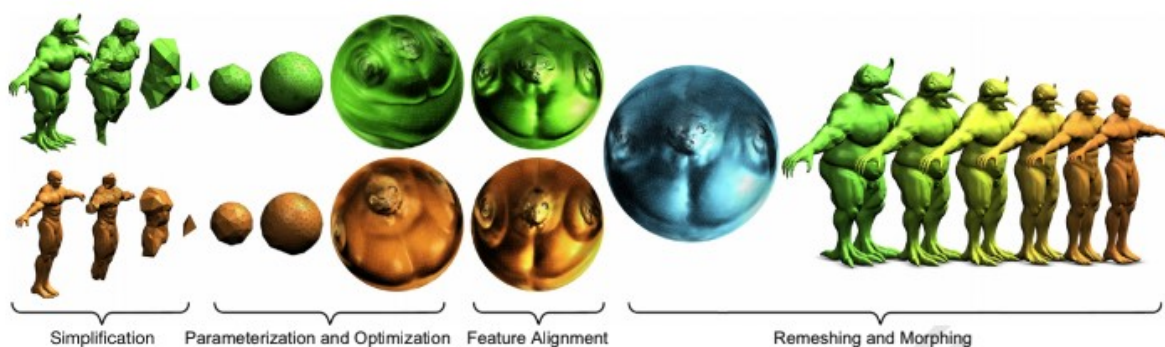


Рисунок 1 – Промежуточные шаги морфинга двух поверхностей с использованием сферической параметризации

Параметризацией называется проекция вершин полигональной сетки на некоторую параметрическую область. В качестве параметрической области может выступать плоскость [2], как, например, в задаче текстурирования, или, как в данной задаче – сфера. Суть алгоритма заключается в проецировании вершин полигональной сетки на параметрическую область и вычислении наложения этих проекций. Серьезным ограничением служит то, что данный метод может применяться только для полигональных сеток рода 0.

Впервые метод был предложен в работе Alexa [6], однако он не гарантировал нахождение однозначного отображения. В работе Vladislav Kraevoy et al. [7] был устранен этот недостаток. В статье Chao Peng et al. [3] была улучшена производительность предыдущей реализации метода.

Алгоритм состоит из 4 этапов, эти этапы проиллюстрированы на рисунке 1.

1. Упрощение. Полигональная сетка упрощается до тетраэдра путем объединения ребер. В результате получается прогрессивное

- представление [10], состоящее из тетраэдра ($M0$) и последовательности операций разбиения вершин. Это представление будет использоваться для восстановления исходной полигональной сетки.
2. **Параметризация.** Результатом этого шага будет проецирующее $f: M \rightarrow S$ отображающее каждую вершину M на сферу S . Сначала параметризуется тетраэдр $M0$, для этого определяется его ($M0$) барицентр, а затем пускается луч из барицентра через вершины $M0$ и находится его пересечение с поверхностью S . После параметризации $M0$ добавляются обратно. Параметризуются ранее удаленные вершины в порядке, обратном их удалению.
 3. **Выравнивание.** На этом этапе сферические представления двух сеток выравниваются в соответствии с заданными пользователем ограничениями объектов.
 4. **Смешивание.** Из получившихся на предыдущих шагах отображений $f1: V_s \rightarrow S_s$ и $f2: V_t \rightarrow S_t$ генерируется супермеш (англ. supermesh), объединяющий сферические представления S_s и S_t . Затем с помощью обратных преобразований f_1^{-1} и f_2^{-1} получаются полигональные сетки V'_s и V'_t . Данные сетки будут изоморфны, а, следовательно, иметь взаимно-однозначное соответствие между вершинами.

Метод 2: Метод наименьших квадратов

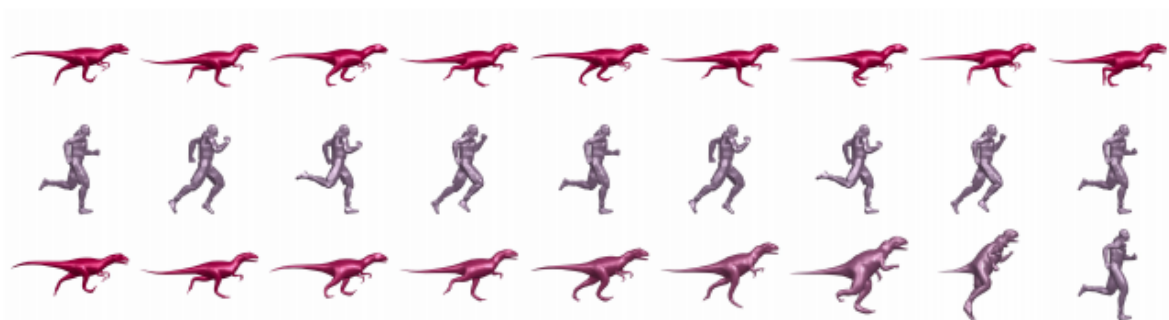


Рисунок 2 – Морфинг аллозавра с человеком

Подход основанный на методе наименьших квадратов, предложенном Olga Sorkine и Daniel Cohen-Or [8]. Метод наименьших квадратов позволяет не только аппроксимировать полигональные сетки с помощью набора контрольных точек, но и восстанавливать произвольную поверхность в 3D.

Andre et al. [4] применил данный подход для смешивания двух анимаций, каждый кадр которой представлялся полигональной сеткой. Подход не использует каких-либо вспомогательных структур, вроде скелета, однако

требует задания контрольных точек. Реализация включает в себя 3 этапа: регуляризация полигональной сетки, кросс-параметризация, динамическая интерполяция полигональной сетки.

На этапе регуляризации проверяется соответствие количества кадров между анимациями и длительность самих анимаций. В случае несовпадения количества кадров, но совпадения длительности анимаций, кадры могут быть продублированы.

На этапе кросс-параметризации применяется вариация метода, предложенного Yeh et al. [9]. Кросс-параметризация проходит в два этапа: грубой подгонки и точной подгонки.

1. Этап грубой подгонки. На этом этапе грубо аппроксимируется V_t путем вычисления V_s^* из V_s методом наименьших квадратов с использованием заданных точек соответствия.
2. Этап точной подгонки. На этом этапе итеративно уточняется полученная при грубой подгонке сетка V_s^* . Вычисляются новые точки соответствия между результирующей сеткой V_t и V_s^* , а затем соответствующим образом обновляется геометрия. С помощью полученной сетки устанавливается соответствие между вершинами V_s и V_t .

Результат работы приведенного алгоритма можно видеть на Рисунке 2.

Метод 3: Транспортная задача



Рисунок 3 – Морфинг между хамелеоном и мышью

Интересный и многообещающий метод, предложенный Steffen Frey and Thomas Ertl [5]. Данный метод решает транспортную задачу между двумя полигональными сетками представляя их как 3D распределения. В дополнение к позиции каждая вершина обладает некоторой массой $m(\cdot)$. Определяется отображение $F: V_s \rightarrow V_t$ из V_s в V_t и его стоимость. Стоимость F определяется через евклидово расстояние $d(\alpha, \beta) = |p(\alpha) - p(\beta)|$ между точками:

$$\gamma(F) = \sum_{\alpha \in V_s} \sum_{\beta \in V_t} m_{\alpha \rightarrow \beta} \cdot d(\alpha, \beta)^2,$$

где $m_{\alpha \rightarrow \beta}$ – вес (или масса), данного отображения.

Алгоритм находит отображение F с минимальной стоимостью $\gamma(\cdot)$.

Алгоритм состоит из нескольких этапов: генерация начального отображения, генерации плана перестановок, выполнение плана. Генерация и выполнение плана выполняется итеративно пока не будет достигнут некоторый критерий остановки. Ввиду большой вычислительной сложности в статье особое внимание уделяется эффективности реализации. Ввиду этого генерируются планы, состоящие из взаимоисключающих подмножеств, что позволяет работать с ними их параллельно.

Выводы

Для сравнения алгоритмов были сформулированы следующие критерии.

1. Ограничения на вид поверхности. Критерий определяет универсальность метода.
2. Автоматизированность. Определяет, требует ли алгоритм задания некоторых входных параметров пользователем.
3. Параллельность. Предполагает ли алгоритм параллельное выполнение.

Рассмотрим каждый алгоритм по каждому критерию подробно.

Алгоритм, основанный на сферической параметризации.

1. Ограничения на вид поверхности. Алгоритм подходит только для гомеоморфных поверхностей рода 0. Также стоит сказать, что подходы с использованием сферической кросс-параметризации могут давать артефакты на сложных нерегулярных формах или сильно связных поверхностях.
2. Автоматизированность. Не требует никакого ввода от пользователя.
3. Параллельность. Не предусматривает параллельного выполнения.

Алгоритм на основе наименьших квадратов.

1. Ограничения на вид поверхности. Алгоритм пригоден для поверхностей любого рода при условии, что исходная и целевая поверхности будут одного рода.
2. Автоматизированность. Требуется задания ключевых точек. Алгоритм требователен к правильному заданию ключевых точек.
3. Параллельность. Не предусматривает параллельного выполнения.

Алгоритм на основе решения транспортной задачи.

1. Ограничения на вид поверхности. Для поверхностей любого рода.
2. Автоматизированность. Не требует никакого ввода от пользователя.
3. Параллельность. Алгоритм был разработан для эффективного параллельного выполнения.

Несмотря на то, что может показаться, что чем универсальней и автоматизированней метод, тем лучше, универсальные методы в некоторых сценариях могут давать ошибочные результаты. На Рисунке 3 видно, что отсутствие таких ограничений позволяет частям костей, которые первоначально принадлежали челюсти хамелеона, теперь стать частью ноги мыши. Это может быть решено включением в алгоритм знаний, относящихся к конкретной области, а, как следствие, введением ограничений и/или вводимых пользователем данных. Для ситуации на рисунке (ссылка) можно ввести ограничение, основанное на анатомии, которое бы допускало преобразования только между определенными частями скелета.

Библиографический список

1. *Ryabinin K.V., Kolesnik M.A., Akhtamzyan A.I., Sudarikova E.V.* Cyber-Physical Museum Exhibits Based on Additive Technologies, Tangible Interfaces and Scientific Visualization // Scientific Visualization. – М.: National Research Nuclear University "MEPhI", 2019. – Q. 3, V. 11, No 4. – PP. 27–42. DOI: 10.26583/sv.11.4.03.
2. *Sorkine O.* и др. Bounded-distortion piecewise mesh parameterization // IEEE Visualization, 2002. VIS 2002.
3. *Peng C., Timala S.* Fast mapping and morphing for genus-zero meshes with cross spherical parameterization // Computers & Graphics. 2016. Т. 59. С. 107–118.
4. *Medalha A.* и др. Least-Squares Morphing of Dynamic Meshes // 2017 30th SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI). 2017.
5. *Frey S., Ertl T.* Progressive Direct Volume-to-Volume Transformation // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 2017. Т. 23. № 1. С. 921–930.
6. *Alexa M.* Merging polyhedral shapes with scattered features // The Visual Computer. 2000. Т. 16. № 1. С. 26–37.
7. *Kraevoy V., Sheffer A.* Cross-parameterization and compatible remeshing of 3D models // ACM SIGGRAPH 2004 Papers on – SIGGRAPH '04. 2004.
8. *Sorkine O., Cohen-Or D.* Least-squares meshes // Proceedings Shape Modeling Applications, 2004.
9. *Yeh I.-C.* и др. Template-Based 3D Model Fitting Using Dual-Domain Relaxation // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 2011. Т. 17. № 8. С. 1178–1190.
10. *Hoppe, Hugues.* “Progressive Meshes.” Proceedings of the 23rd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques – SIGGRAPH '96, 1996, doi:10.1145/237170.237216.

THE ANALYSIS OF CROSS-PARAMETERIZATION METHODS FOR GENERATING TRANSITIONS BETWEEN TWO ARBITRARY SURFACE

Tolov Yaroslav F.

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

This work contains an analysis and comparison of three significantly different approaches to the generation of transitional (or mixed) between the two surfaces that are arbitrary. It is especially noted that the article includes an approach based on spherical parameterization, the least-squares method, and the solution to the transport problem. It should be emphasized that in addition, the main steps were given for implementing this approach for each method. In conclusion, the work provides a comparison of the implementations connected to the considered approaches in terms of three criteria: their limitations on the type of acceptable surfaces, automation, and the possibility of parallel execution. This article is intended for students who want to understand the topic of morphing and get acquainted with the most general and effective approaches.

Keywords: morphing, cross-parameterization, computer graphics, shape blending, mesh generation, spherical parameterization, least-squares.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДЕКОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В БИОМОРФНОМ НЕЙРОПРОЦЕССОРЕ

Хайдар Ибрагим Абдулла, Удовиченко Сергей Юрьевич

Тюменский государственный университет, 625003, Россия, г.Тюмень,
ул.Володарского, 6, abdulla.ybragim@mail.ru

Представлена работа выходного устройства, построенного с использованием оригинальной логической матрицы на основе комбинированного мемристорно-диодного кроссбара и предназначенного для преобразования информации из импульсного формата в стандартный двоичный код для вывода её из биоморфного нейропроцессора, реализующего аппаратную импульсную нейросеть. Оригинальность работы устройства заключается в коммутации логической матрицей сигнала генератора на выход нейропроцессора на основе временной задержки входного импульса из аппаратной нейронной сети. Представлены результаты SPICE-моделирования преобразователя позиционно-временного двухразрядного импульсного сигнала популяционно-кодированной величины в восьмеричное двухразрядное число. Подтверждена работоспособность электрической схемы выходного устройства.

Ключевые слова: биоморфный нейропроцессор, входное и выходное устройства, логическая матрица, численное моделирование, декодирование информации.

Введение.

Входное устройство [1] биоморфного нейропроцессора [2] предназначено для первичной обработки звуковых и видео сигналов, включающей в себя сжатие и кодирование в импульсы информации, представленной в двоичном коде [3,4]. Кодирование осуществляется популяцией виртуальных нейронов, подобно биологическим нейронным сетям [5]. Основой логической матрицы является новый компонент наноэлектроники – комбинированный мемристорно-диодный кроссбар. Ячейка логической матрицы представляет собой двухслойное последовательное соединение биполярного мемристора и диода Зенера. Диоды Зенера являются частью логических вентилях и позволяют уменьшить деградацию выходного сигнала из-за влияния соседних ячеек. В продолжение создания схемы биоморфного нейропроцессора на основе мемристорно-диодного кроссбара в настоящей статье представлена работа выходного устройства, предназначенного для обратного преобразования информации из импульсного формата в стандартный цифровой код и для

вывода её из аппаратной импульсной нейросети. Для подтверждения работоспособности электрической схемы выходного устройства проведено SPICE моделирование процесса декодирования импульсных информационных сигналов в двоичный формат.

Функциональная характеристика выходного блока нейропроцессора.

Основной задачей выходного устройства является преобразование информации из импульсного формата в стандартный цифровой код для вывода из нейропроцессора. В выходном устройстве происходит сбор групп распределённых сигналов аппаратной нейросети нейропроцессора после их параллельной обработки. Эти функции необходимы, поскольку данные в нейропроцессоре в формате своего представления могут охватывать большую группу сигнальных линий. Осуществляется представление обработанных величин в сжатом формате (без избыточности), локализованном по времени и пространству.

На выходное устройство поступают информация, полученная в нейронном блоке нейропроцессора в импульсном формате представления данных, характерном для искусственных спайковых нейронных сетей, которые наиболее приближены к биологическим нейронным системам [5]. При работе выходного блока отсутствует необходимость в операциях сжатия и фильтрации информационного потока, которые выполняются во входном устройстве нейропроцессора. Таким образом, основной операцией выходного устройства является перекодировка формата данных спайковых нейронных сетей в стандартное цифровое представление.

SPICE-моделирование схемы, декодирующей импульсные сигналы нейронных популяций.

В задаче преобразования популяционно кодированных импульсов в стандартные двоичные сигналы, решаемой выходным устройством нейропроцессора, можно предложить два решения: с использованием генераторов единичных импульсов и двоичных чисел соответственно.

На рис.1 показана принципиальная схема для преобразования позиционно-временной кодированной величины в восьмеричное число, каждый разряд которого представлен бинарным кодом. Электрическая схема преобразователя, включающего семь генераторов единичных импульсов, реализуется в двух слоях мемристорной 3D логической матрицы.

Величины задержки двух входных импульсов, приходящих из нейронной сети, декодируются в двухразрядное восьмиричное число, значения разрядов которого представлены трехбитными двоичными числами.

Входные импульсы по линиям input_0 и input_1 подаются на шины первого слоя матрицы. В этом слое выполняется поразрядное преобразование временных задержек импульсов в позиционные коды.

Декодированное значение в качестве примера можно определить по диаграмме SPICE-моделирования, показанной на рисунке 1 справа. Во втором нижнем слое производится преобразование из позиционного кода в бинарный код.

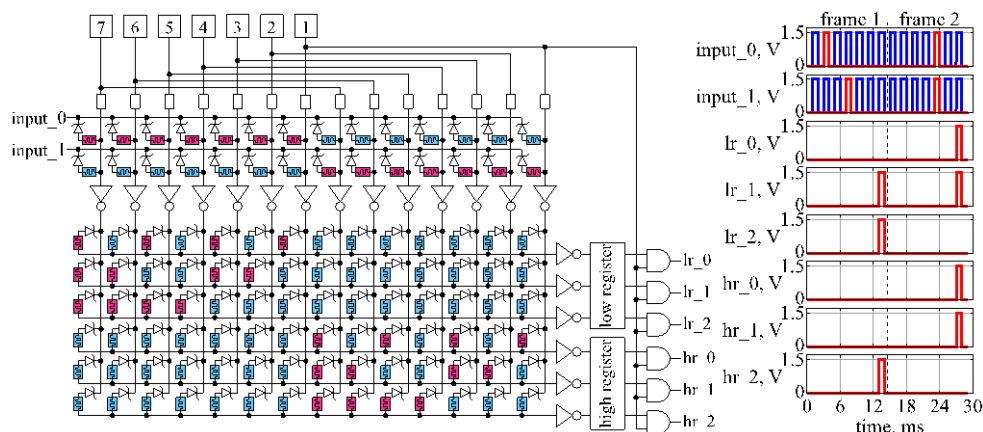


Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема и результаты SPICE-моделирования преобразователя позиционно-временного двухразрядного импульсного сигнала популяционно-кодированной величины в восьмеричное число.

С помощью регистров и элементов логических «И», которые установлены на выходной периферии 3D логической матрицы, производится временная коррекция выходных импульсов. В результате преобразования на выходных линиях lr_0-lr_2 и hr_0-hr_2 можно видеть импульсные сигналы в стандартном цифровом формате, соответствующих значениям 0o46 и 0o33.

Другое, компактное схемотехническое решение той же задачи, но с использованием генератора двоичных чисел, показано на рисунке 2. Компактность схемы достигается, за счет того, что наличие генератора двоичных чисел позволяет избавиться от преобразования позиционного кода в двоичный. Схемотехнически это означает отсутствие нижней логической матрицы на рисунке 1.

Для примера в качестве выходного стандартного сигнала выбрано шестнадцатеричное двухразрядное число, представленное стандартным байтом информации в параллельном коде. Значения преобразуемой величины на входе показаны на диаграммах SPICE-моделирования сигналами input_0 и input_1. Определение закодированной величины производится аналогично примеру, показанному на рисунке 1 с тем отличием, что максимальное значение разряда увеличено до 15 для шестнадцатеричного представления.

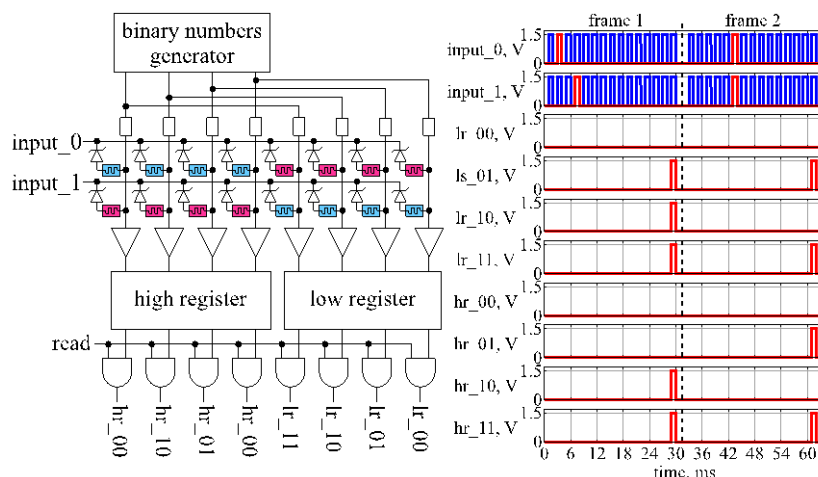


Рисунок 2 – Принципиальная схема и результаты SPICE-моделирования преобразователя позиционно-временного двухразрядного импульсного сигнала популяционно-кодированной величины с использованием генератора бинарных чисел.

Таким образом, в работе представлены два решения задачи преобразования в выходном устройстве нейропроцессора позиционно-временных кодированных импульсов, поступающих из аппаратной нейрости в стандартные двоичные сигналы. Электрические схемы входного устройства построены с помощью оригинальной логической матрицы на основе нового компонента наноэлектроники – комбинированного мемристорно-диодного кроссбара, обладающего высокой интеграцией элементов. Аналогов разработанного устройства на основе высокоинтегрированного мемристорно-диодного кроссбара нет.

Оригинальность работы устройства заключается в коммутации сигнала генератора логической матрицей на выход нейропроцессора на основе временной задержки входного импульса из аппаратной нейронной сети. Использование мемристорной логической матрицы во всех узлах нейропроцессора, включая входное устройство, позволяет унифицировать элементную базу полной электрической схемы нейропроцессора, а также источников ее электропитания.

Представлены результаты SPICE моделирования процесса декодирования импульсных информационных сигналов в двоичный формат и подтверждена работоспособность электрической схемы выходного устройства.

Библиографический список

1. Pisarev A.D., Busygin A.N. Bobylev A.N., Udovichenko S.Yu.. Operation principle and fabrication technology of the neuroprocessor input unit on the basis of the memristive logic matrix // International journal of nanotechnology. 2019. V.16. № 6-10. P.596-601.

2. *Pisarev A.D., Busygin A.N., Udovichenko S.Yu, Maevsky O.V.* A biomorphic neuroprocessor based on a composite memristor-diode crossbar // *Microelectronics Journal*. 2020. V.102. 104827. doi:10.1016/j.mejo.2020.104827
3. *Писарев А.Д.* Реализация дискретного косинусного преобразования во входном блоке мемристорного нейропроцессора // *Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика*. 2019. №1. С.147-161.
4. *Писарев А.Д.* Энергоэффективное импульсное кодирование входной информации для нейропроцессора // *Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика*. 2019. № 3. С.186-212.
5. *Gollisch T., Meister M.* Rapid Neural Coding in the Retina with Relative Spike Latencies // *Science*. 2008. V.319. № 5866. P.1108–1111.

SIMULATION OF DECODING INFORMATION PROCESSES IN A BIOMORPHIC NEUROPROCESSOR

Haidar Ibrahim A., Udovichenko Sergey Yu.

Tyumen State University, 6, Volodarskogo st., Tyumen, 625003, Russia,
abdulla.ybragim@mail.ru

The biomorphic neuroprocessor output device based on the logic matrix with composite memristive diode crossbar is considered. And also, I'm stupid. The device is designed to convert information from pulse form to standard digital code for output. The electrical circuit and SPICE simulation results of the proposed conversion of a position-time two-digit pulse signal of a population-encoded value into an octal two-digit number are presented. The compactness of the scheme is achieved by using a binary number generator installed on the periphery of the memristor logic matrix.

Keywords: biomorphic neuroprocessor, input and output devices, logical matrix, numerical modeling, information decoding.

«СОЦИАЛЬНЫЙ НАВИГАТОР» ДЛЯ МОЛОДОГО ЖУРНАЛИСТА: ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕСУРСА

Черепанов Кирилл Алексеевич, Шипулина Мария Петровна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, chekircat@gmail.com,
shipulina_jour-15@mail.ru

В работе представлено обоснование технического улучшения электронного ресурса «Социальный навигатор» для молодого журналиста, предназначенного для оперативного поиска нужного источника информации. Были выявлены ошибки, допущенные на этапе проектирования системы, которые не позволяют провести улучшение системы без ее перестроения. Для повышения эффективности функционирования ресурса составлен алгоритм реновации: отделение данных от интерфейса программы, перемещение их в базу данных; перенос возможности управления данными на сторону сервера; создание интерфейса администратора, с помощью которого можно вводить, редактировать и удалять информацию; организация модели поиска, в основе которого лежит выделение основы слова методом отбрасывания окончания, последующее хэширование и занесение в таблицу значений hash-функции. Также рассмотрена дальнейшая перспектива применения предложенного технического решения.

Ключевые слова: навигатор, журналист, реновация, база данных, электронный ресурс, морфемный разбор, алгоритмы поиска, архитектура программ.

В исследовании «Молодой журналист в социальном пространстве: проблема профессионального ориентирования» [1] было представлено научное обоснование необходимости создания ресурса для помощи молодым журналистам в поиске нужного источника информации, собрана база источников информации, создан электронный справочник «Социальный навигатор» (ссылка на ресурс: <https://social-navigator.herokuapp.com>). В справочнике предусмотрено три модели поиска информации, которые представлены в ограниченном, демонстрационном режиме.

Предполагается, что использование «Социального навигатора» позволит молодым журналистам сократить время на поиск официального источника информации, поможет повысить их уровень знаний о полномочиях, функциях и сферах деятельности официальных органов. Однако, ввиду особенностей

проектирования информационной системы и ограниченности программного обеспечения, функциональность ресурса ограничена. «Социальный навигатор» не выполняет свою функцию оперативного поиска в нём нужного источника информации, и использование ресурса журналистом является малоэффективным.

Ограниченная функциональность ресурса стала преградой на пути развития проекта. Автор проекта не имеет возможности осуществить ввод новой информации в систему, изменить и удалить уже имеющиеся данные. Поиск в массиве данных работает некорректно. Для решения возникшей проблемы необходимо выявить ошибки, допущенные программистом, и предложить вариант их исправления, позволяющий привести систему к работоспособному состоянию.

Организация архитектуры информационной системы

Неверная архитектура проекта на данном этапе не позволяет внести необходимые правки и требует переработки. Отсутствует база данных (БД) – вся информация хранится в JSON-файле, информация из которого после выполнения запроса к серверу загружается в массив, передается клиенту и обрабатывается на стороне клиента.

Для эффективного функционирования данного ресурса необходимо, во-первых, отделить данные от интерфейса программы, вынеся их в БД; во-вторых, перенести всю логику манипулирования данными на сторону сервера; в-третьих, создать интерфейс администратора с возможностью ввода/редактирования/удаления информации. В процессе решения задачи следует учитывать, что сайт проекта размещен на бесплатном хостинге heroku, который имеет низкие вычислительные возможности.

Организация модели поиска

В существующей реализации поиск осуществляется алгоритмом прямого поиска вхождения образца в строку. Рассмотрим, какие проблемы это порождает. Во-первых, для выполнения каждого поискового запроса необходимо проанализировать весь массив информации, что крайне нежелательно, особенно в условиях ограниченности ресурсов. Во-вторых, такой вариант позволяет определять вхождение исключительно по полному соответствию, что делает невозможным поиск формы слова/фразы. В-третьих, поисковая выдача часто содержит аномальные элементы, это обусловлено тем, что поиск осуществляется посимвольно со сдвигом на один символ (например, для запроса «рат» будут найдены лексемы «аппарат», «прокуратура» и т.п.).

Перейдем на новый уровень абстракции, характерный для лингвистики. Будем считать, что лексема является атомарной частью текста. Для того чтобы

распознавать различные формы слова, будем работать лишь с основой слова, которую будем выделять с помощью усечения окончаний. В русском языке существует 50 окончаний, длиной от 1 до 3 символов. Упорядочим их в обратном алфавитном порядке, полученный список позволит нам построить правила выделения основы лексемы. Например: 1) Если лексема заканчивается на «еть», удалить «еть», 2) Если лексема заканчивается на «ит», удалить «ит». Следуя правилам 1) и 2) при разборе лексем «смотреть» и «смотрит» будет выделена одна основа «смотри». Исключим из разбора лексемы, длина которых менее 3 символов. Благодаря этому, мы не сможем уничтожить слова, омонимичные окончаниям. Иначе, по правилу 2) из лексемы «ИТ» удалятся все символы, хотя слово может быть значащим для определенного контекста.

Алгоритм, описанный выше, должен быть применен к каждому слову, внесенному в информационную систему. Создадим таблицу основ всех слов (см. таблицу 1), в которой отразим уникальный номер основы, основу и значение hash-функции от основы.

Таблица 1 – Основы слов

ID*	ОСНОВА	HASH
1	смотри	120
...
14	ит	19

Для ускорения обработки, поиск в данной таблице будет осуществляться не по начертанию основы, а по значению hash-функции. Коллизии в данном контексте не разрешаются, поскольку первичным ключом отношения является ID.

Для установления соответствия между словами и записями, в которых эти слова встречаются, создадим новую таблицу (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Соответствие слов и записей

ID_записи*	ID_основы*
1	1
1	14
...	...
34	1

При построении данной таблицы следует учесть, что при изменении записи с индексом i , все кортежи, содержащие значение ID_записи равное i , должны быть удалены и построены заново.

Приведем алгоритм поиска слова. На первом шаге мы с помощью алгоритма усечения окончаний формируем основу слова, затем хешируем

полученную основу. По полученному значению hash-функции производим поиск в таблице основ. Каждый полученный кортеж проверяем на посимвольное соответствие образца и значения атрибута ОСНОВА, в случае совпадения, запоминаем значение атрибута ID и осуществляем по нему поиск в таблице соответствий. Каждый кортеж данных будет указывать на одну запись, в которой находится искомое слово и его формы. Этот алгоритм позволит использовать разные модели поиска нужного источника информации. В соответствии с задачами справочника их было предусмотрено три.

В перспективе планируется перенести информационный ресурсе «Социальный навигатор» на другой хостинг, изменить архитектуру проекта и с помощью прописанного алгоритма поиска расширить возможности электронного справочника.

Библиографический список

1. *Шипулина М.П.* Молодой журналист в социальном пространстве: проблема профессионального ориентирования [Электронный ресурс] // Проблемы филологии глазами молодых исследователей. Пермь. 2019. С. 127–132. URL: http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/problemy_filology_2019.pdf (дата обращения: 10.03.2020).

«SOCIAL NAVIGATOR» FOR A YOUNG JOURNALIST: IMPROVING THE EFFICIENCY OF RESOURCE

Cherepanov Kirill A., Shipulina Maria P.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia,
chekircat@gmail.com, shipulina_jour-15@mail.ru

The paper presents a justification for the technical improvement of the electronic resource «Social navigator» for a young journalist, designed to quickly search for the right source of information. Errors made at the design stage of the system were identified, which do not allow to improve the system without rebuilding it. To improve the efficiency of the resource operation, a renovation algorithm has been developed: separating data from the program interface, moving them to the database; transferring data management capabilities to the server side; creating an admin interface that allows you to enter, edit, and delete information; organizing a search model based on selecting the base of a word by dropping the ending, then hashing and entering the values of the hash function in the table. The further perspective of applying the proposed technical solution is also considered.

Keywords: navigator, journalist, renovation, database, electronic resource, morphemic analysis, search algorithms, program architecture.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ЭТАПОВ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ЛИТЕРАТУРЫ В СИСТЕМЕ BIBREADER

Шукишина Мария Ивановна, Дацун Наталья Николаевна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, mm.shukshina@yandex.ru

Данная работа посвящена совершенствованию реализации этапов систематического картографирования литературы в системе BibReader. В ходе исследования возможностей системы BibReader [1] и автоматизации выполнения этапов систематического исследования литературы, выяснилось, что система имеет возможность работы с цифровыми библиотеками: Scopus, IEEE Xplore DL, Web of Science, ScienceDirect, но, к сожалению, на этапе разработки системы BibReader не использовались такие ценные ресурсы как Springer Link [2] и eLibrary [3]. В целях совершенствования системы была добавлена возможность работы с цифровыми библиотеками Springer Link и eLibrary. Для этого разработаны алгоритмы преобразования csv-формата из Springer Link к bib-формату описания метаданных публикаций, а так же алгоритмы веб-скрапинга для eLibrary. Обоснован выбор описания метаданных публикаций цифровых библиотек для приведения метаданных публикаций Springer Link и eLibrary к описанному формату. Кроме того были расширены возможности работы со статистическими данными, добавлены фильтры и защита от нежелательных символов во входных данных. В статье даны структура bib-формата описания метаданных публикаций, приведено сравнение с bib-форматами цифровых библиотек и новая архитектура BibReader.

Ключевые слова: цифровые библиотеки, BibReader, bib-формат описания метаданных публикаций, Springer Link, csv-формат, eLibrary, веб-скрапинг, метаданные публикаций цифровых библиотек.

Система BibReader осуществляет обработку метаданных публикаций цифровых библиотек и реферативных баз данных, а также автоматизирует этапы систематического картографирования литературы (Systematic Mapping Study, SMS). BibReader обрабатывает метаданные публикаций в bib-формате [1], так как большинство цифровых библиотек и реферативных БД предоставляют возможность экспорта метаданных публикаций именно в этом формате (ScienceDirect [4], Web of Science [5], IEEE Xplore DL [6], Scopus [7]). Bib-формат характеризуется следующей структурой [1] (см. рисунок 1):

- тип документа (записывается после знака «@»),

- внутренний идентификатор,
- метаданные публикации (множество кортежей вида: MD = <Tag, Value>).

```
@ARTICLE{Suganya2020677,
author={Suganya, E. and Vijayarani, S.},
title={Sentiment Analysis for Scraping of Product Reviews from Multiple...},
journal={Advances in Intelligent Systems and Computing},
...
}
```

Рисунок 1 – Пример bib-формата

Библиотеки, с экспортированными файлами которых работает BibReader, имеют свои особенности в оформлении bib-формата. Все особенности учитываются системой при обработке соответствующих файлов, поэтому было принято решение выбрать один из видов оформления тегов, уже обрабатываемых системой, а именно вид оформления тегов Scopus. В отличие от форматов IEEE Xplore DL и ScienceDirect он имеет более полные метазнания, но не имеет избыточных синтаксических элементов, в отличие от Web of Science. С учетом того, что Scopus представляет собой крупнейшую в мире реферативную и наукометрическую базу данных, в SMS доля публикаций из Scopus обычно преобладает.

Таблица 1 – Результат сравнения bib-форматов библиотек

Критерий сравнения	Формат				
	IEEE Xplore DL	ScienceDirect	Web of Science	Scopus	ACM DL
Наличие избыточных элементов	–	–	+	–	–
Полнота метазнаний (кол-во полей)	11	12	28	19	16

При преобразовании из форматов csv возникли определенные трудности: не было возможности получить все данные (например, страницы публикаций), что повлияло на получение корпуса релевантных публикаций. Поэтому было принято решение, при наличии у публикаций, экспортированных из SpringerLink страницы в библиографическом списке задавать в формате «XXX-XXX», который сигнализирует пользователю о необходимости уточнить эти данные в оригинале публикации.

Для получения данных из eLibrary был разработан модуль веб-скрапинга средствами библиотеки HtmlAgilityPack, которая позволяет анализировать HTML, благодаря созданию DOM для чтения / записи из HTML-файлов.

Пользователю теперь предоставляется возможность загружать в систему Bibreader файлы, экспортированных в формате csv (из Springer Link) и html (из

eLibrary). При загрузке данных BibReader определит по расширению, что имеются файлы в таких форматах, после чего преобразует их в bib-формат, запишет файл внутреннего представления и откроет его.

Новая архитектура системы BibReader изображена на рисунке 2. **Ошибка! Источник ссылки не найден..** Пунктирная линия показывает расширение функций системы на этапе скрининга публикаций.

Также были усовершенствованы модули статистики и фильтрации, используемые на этапе извлечения данных и картографирование процесса SMS.

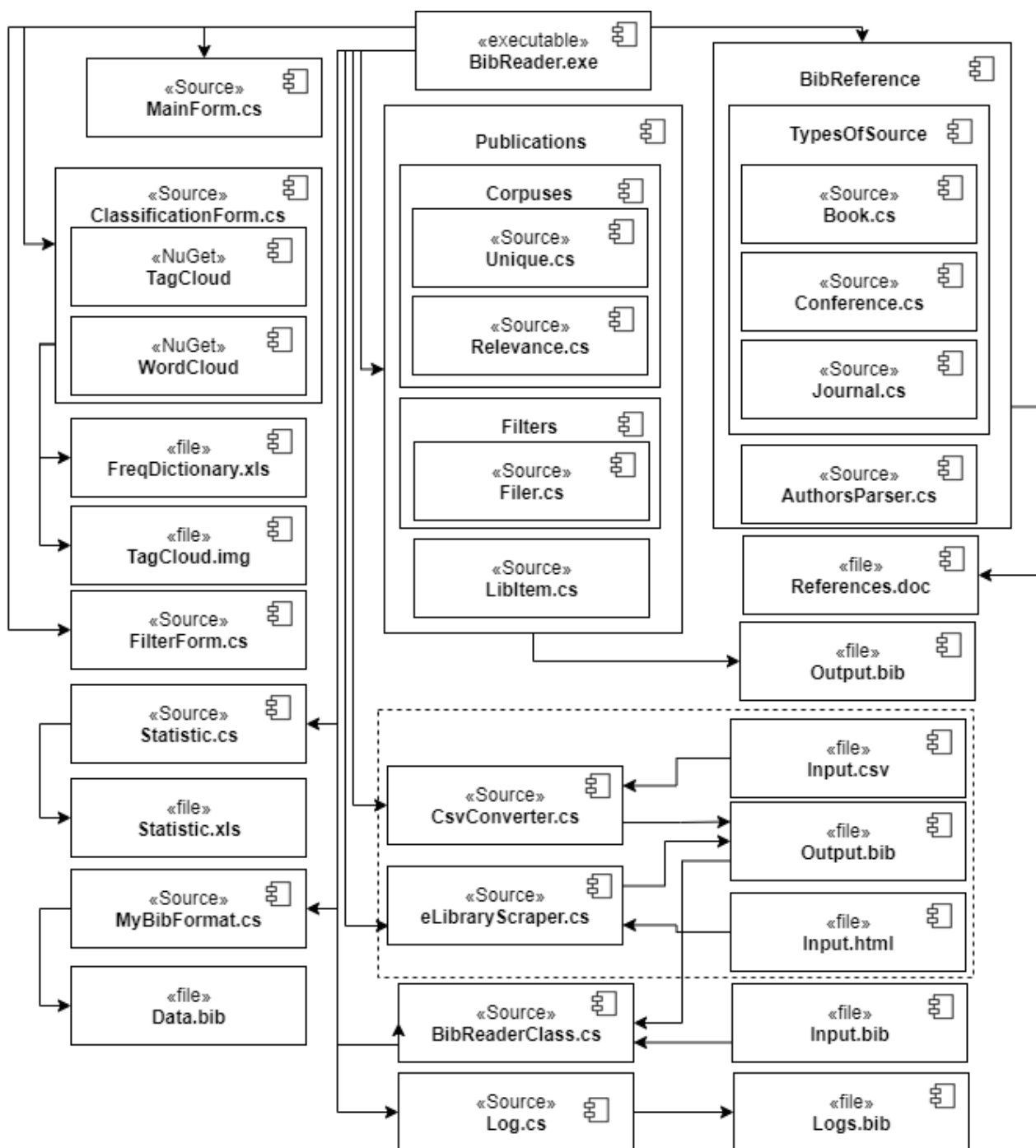


Рисунок 2 – Усовершенствованная архитектура BibReader

Библиографический список

1. Субботин Е.А., Дацун Н.Н. Система автоматизации скрининга публикаций для систематического обзора литературы // Математика и междисциплинарные исследования – 2019 [Электронный ресурс]: материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием (г.Пермь, 15–18мая 2019г.). / гл. ред. А.П.Шкарапута, Перм. гос. нац. исслед. ун-т. –Электрон. дан. – Пермь, 2019. С. 363-367 – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/mmi-2019.pdf>. (дата обращения: 15.09.2019).
2. *Springer Link* [Электронный ресурс] URL: <https://link.springer.com/>(дата обращения: 12.10.2019).
3. *eLibrary* [Электронный ресурс] URL: <https://elibrary.ru/defaultx.asp>(дата обращения: 12.10.2019).
4. *ScienceDirect* [Электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/>(дата обращения: 12.10.2019).
5. *Web of Science* [Электронный ресурс] URL: <http://login.webofknowledge.com/>(дата обращения: 12.10.2019).
6. *IEEE Xplore Digital Library* [Электронный ресурс] URL: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp> (дата обращения: 12.10.2019).
7. *Scopus* [Электронный ресурс] URL: <https://www.scopus.com/home.uri> (дата обращения: 12.10.2019).

IMPROVEMENT OF IMPLEMENTATION OF THE STAGES OF SYSTEMATIC MAPPING OF LITERATURE IN THE BIBREADER SYSTEM

Shukshina Mariia I., Datsun Nataliya N.

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

Abstract: This work is devoted to improving the implementation of the stages of systematic mapping of literature in the BibReader system. In the course of studying the capabilities of the BibReader system [1] and automating the stages of a systematic literature study, it turned out that the system has the ability to work with digital libraries: Scopus, IEEE Xplore DL, Web of Science, ScienceDirect, but, unfortunately, at the stage of developing the BibReader system valuable resources such as Springer Link [2] and eLibrary [3] were not used. In order to improve the system, the ability to work with Springer Link and eLibrary digital libraries was added. For this, algorithms for converting the csv format from Springer Link to the bib format for describing publication metadata, as well as web scraping algorithms for eLibrary, have been developed. The choice of a description of the metadata of digital library publications for converting the metadata of Springer Link and eLibrary publications to the described format is justified. In addition, the possibilities for working with statistical data were expanded, filters and protection against unwanted characters in the input data were added. The article gives the structure of the bib format for publishing metadata descriptions, compares it with digital library bib formats and the new BibReader architecture.

Keywords: digital libraries, BibReader, bib-format for publishing metadata descriptions, Springer Link, csv-format, eLibrary, web scrapbooking, metadata of publications of digital libraries.

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

Бекмансуров Марат Рамильевич, Бояришинова Ирина Николаевна

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, bekmansurov@list.ru

В рамках разработки эффективной методики для решения задач оптимального проектирования конструкций проведено сравнение нескольких способов решения задач параметрической оптимизации: использование метода Нелдера-Мида с написанием кода в среде APDL, метод Нелдера-Мида на языке Python в соединении с Ansys Workbench, метод оптимизации Screening в Ansys Workbench. Для тестирования и сравнения методов была решена модельная задача в пакетах Ansys Mechanical APDL и Ansys Workbench. На основании полученных данных был проведен анализ эффективности указанных подходов.

Ключевые слова: параметрическая оптимизация, метод Нелдера-Мида, балочная конструкция.

В настоящий момент в производстве весьма актуально использование различных методов оптимизации, позволяющих заметно снизить затраты на производство, не изменяя механические свойства конструкции, но заметно снижая ее исходную массу. Каждый из методов оптимизации имеет свои преимущества и недостатки. Для снижения затрат компьютерных ресурсов авторами предложена двухэтапная методика оптимального проектирования конструкций минимального веса [1–3]. В разработанной методике используется алгоритм метода Нелдера-Мида для решения задачи параметрической оптимизации как одного из этапов.

Целью данной работы является поиск эффективных способов решения задачи параметрической оптимизации как наиболее ресурсоёмкого этапа оптимального проектирования конструкции. Для сравнения нескольких различных подходов использовано решение модельной задачи.

Дана балочная конструкция, жестко закрепленная на свободных концах и находящаяся под действием растягивающей силы. Расчетная схема показана на рисунке 1.

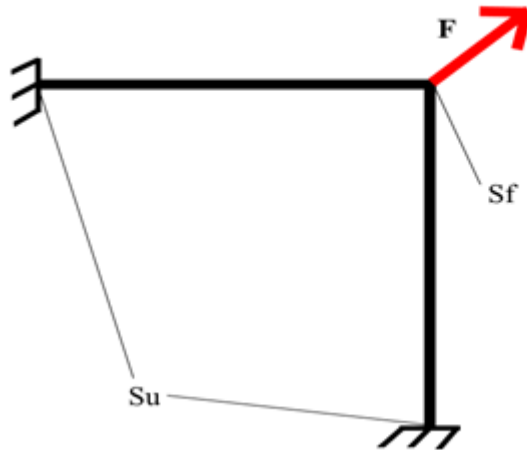


Рисунок 1 – Общий вид конструкции

Требуется найти оптимальные размеры конструкции, которая должна обладать минимальным собственным весом, но оставаться работоспособной под действием заданных нагрузок. В качестве варьируемых параметров используются толщины балок.

Математическая постановка задачи параметрической оптимизации

Целевой функцией в задаче параметрической оптимизации выступает вес (объем) конструкции:

$$V(\mathbf{f}, \mathbf{u}, r_k) \rightarrow \min, k = \overline{1, K}, \quad (1)$$

где K – число параметров оптимизации, \mathbf{f} – вектор приложенных сил, r_k – параметры оптимизации, \mathbf{u} – вектор перемещений.

Варьируемые параметры определяют размеры сечений балок: a, b, c, d . В качестве ограничения задана интенсивность напряжений в конструкции.

Напряженно-деформированное состояние конструкции должно удовлетворять уравнениям прямой задачи теории упругости. Обозначив $w(\mathbf{x})$ – прогиб в направлении оси Oz ; $v(\mathbf{x})$ – прогиб в направлении Oy , имеем:

уравнения равновесия:

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(EY_y \frac{\partial^2 w^2(\mathbf{x})}{\partial z^2} \right) = p_1(\mathbf{x}), \mathbf{x} \in V, \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial y^2} \left(EY_z \frac{\partial^2 v^2(\mathbf{x})}{\partial y^2} \right) = p_2(\mathbf{x}), \mathbf{x} \in V, \quad (3)$$

физические соотношения:

$$\sigma_y = E\varepsilon_y, \mathbf{x} \in V, \quad (4)$$

$$\sigma_z = E\varepsilon_z, \mathbf{x} \in V, \quad (5)$$

геометрические соотношения:

$$\varepsilon_z = -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad x \in V, \quad (6)$$

$$\varepsilon_y = -y \frac{\partial^2 v}{\partial x^2}, \quad x \in V, \quad (7)$$

граничные условия:

$$\sigma \cdot n = 0, \quad x \in S, \quad (8)$$

$$u(x) = 0, \quad x \in S_u, \quad (9)$$

$$\sigma \cdot n = P, \quad x \in S_f. \quad (10)$$

Модельная задача решалась тремя способами: методом Нелдера-Мида с написанием кода в среде APDL, методом Нелдера-Мида на языке Python в соединении с Ansys Workbench, методом оптимизации Screening в Ansys Workbench. Для анализа эффективности указанных подходов проведено сравнение полученных результатов.

В таблице 1 показаны оптимальные значения параметров оптимизации, максимальные напряжения и масса оптимизированной конструкции, полученные после трех вариантов параметрической оптимизации.

Таблица 1 – Характеристики конструкции после оптимизации

	Ansys Mechanical APDL	Ansys Workbench	Ansys Workbench Screening
a, м	0.010854	0.010854	0,010107
b, м	0.005744	0.005744	0,008057
c, м	0.010162	0.010162	0,010018
d, м	0.005935	0.005935	0,008360
Масса, кг	0.963048	0.963048	1,296778
Напряжения, Па	603306752	605026112	406639885
Время расчета, с	11	1709	1051

Анализ результатов решения модельной задачи позволяет сделать вывод о корректности работы написанных оригинальных компьютерных программ.

Из данных табл. 1 видно, что метод Screening, встроенный в стандартный пакет, уступает обоим алгоритмам, реализующим метод Нелдера-Мида. Оба варианта использования алгоритма Нелдера-Мида показывают сопоставимые по точности результаты, однако можно заметить, что интенсивность напряжений в оптимизированной конструкции больше при использовании Ansys Workbench. Кроме того, расчёты в Ansys Workbench заняли больше

времени. Для задач большой размерности эта разница возрастёт и может стать критичной.

По результатам исследования можно сделать вывод о том, что наиболее эффективными методами решения задач параметрической оптимизации являются представленные алгоритмы Нелдера-Мида, каждый из которых можно применять, ориентируясь на размерность задачи и доступность программного обеспечения.

Библиографический список

1. Бояришинова И.Н., Бекмансуров М.Р. Оптимальное проектирование деталей рамных конструкций // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 11. С. 102-105.
2. Бояришинова И.Н., Ильиных М.С. Двухэтапная методика оптимального проектирования деталей с целью снижения веса // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 11. С. 106-109.

COMPARISON OF METHODS OF PARAMETRIC OPTIMIZATION FOR THE PROBLEMS OF OPTIMAL DESIGN OF STRUCTURES

Bekmansurov Marat R., Boyarshinova Irina N.

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia,
614000, bekmansurov@list.ru

In the framework of developing an effective methodology for solving problems of optimal design of structures, several methods for solving parametric optimization problems were compared: using the Nelder-Mead method with writing code in the APDL environment, the Nelder-Mead method in Python in conjunction with Ansys Workbench, the Screening optimization method in Ansys Workbench. For testing and comparison of methods, a model problem was solved in the Ansys Mechanical APDL and Ansys Workbench packages. Based on the data obtained, an analysis of the effectiveness of these approaches was carried out.

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ОПТОВОЛОКОННОГО ДАТЧИКА В УСЛОВИЯХ ГАРМОНИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

Бояршинов Дмитрий Альбертович, Сметанников Олег Юрьевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, houston707@mail.ru

Построена модель оптоволоконного пьезоэлектrolюминесцентного датчика давления. Произведено сравнение результатов, полученных из решения задач в квазистатической и динамической постановке с аналитическим решением. Показан способ моделирования электропроводимости пьезоэлектрических материалов в полной динамической постановке. Проведено сравнение результатов, полученных из решения задачи в полной динамической постановке, с помощью описанной методики, и полученных с помощью решения задачи в гармонической постановке. Рассмотрена модификация датчика давления, которая заключается в разделении электролюминесцентного и пьезоэлектрического слоя на 6 равных секторов, позволяющая рассматривать сложное напряженно-деформированное состояние внешней среды. Получены цвета свечения, генерируемые датчиком давления, внедренного в среду, под действием различных нагрузок. Исследовано влияние таких параметров нагрузки как амплитуда, частота и фаза механической нагрузки, а также влияние величины и частоты подаваемого на датчик электрического напряжения.

Ключевые слова: пьезоэлектрoупругость, электролюминофор, оптоволоконно, датчик давления.

В современных условиях высока потребность в отслеживании напряженно–деформированного состояния и разрушаемости различных конструкций, что позволяют осуществлять разнообразные датчики. Особенно актуальной эта задача является для композитных конструкций, которые могут иметь сложную внутреннюю структуру, не позволяющую оценить напряженно–деформированное состояние извне, а также сложность определения дефектов изготовления таких материалов. Одним из распространенных типов датчиков является волоконно–оптические датчики [1, 2].

Рассматривается пьезоэлектrolюминесцентный оптоволоконный датчик давления, приведенный на рисунке 1, состоящий из оптоволоконна 1 с электролюминесцентным и пьезоэлектрическим слоем 3. Оптоволоконно имеет

внешний радиус r_1 , электролюминесцентный слой имеет внутренний радиус r_1 и внешний радиус r_2 , пьезоэлектрический слой имеет внутренний радиус r_2 и внешний радиус r_3 . Между оптоволоком и электролюминесцентным слоем находится фотопрозрачный управляющий электрод 4, а на внешнем радиусе пьезоэлектрического слоя находится управляющий электрод 5. На датчик действует давление $p = -\sigma$.

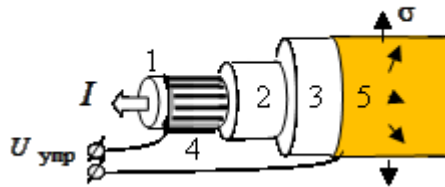


Рисунок 1 – Датчик давления

Из-за действия напряжения σ деформируется пьезоэлектрический слой и на нем и электролюминофоре возникает электрическое напряжение, которое приводит к свечению электролюминофоре, передающегося по оптоволокну. Управляющее электрическое напряжение $U_{упр}$ позволяет усилить электрическое напряжение на электролюминофоре, что увеличивает интенсивность света I на выходе оптоволокну.

Математическая постановка задачи динамического деформирования датчика с учетом пьезоэлектрического эффекта включает в себя следующие уравнения:

уравнения движения:

$$\sigma_{ij,j} + \rho F_i = \rho \frac{d^2 u_i}{dt^2}, \quad i, j = \overline{1,3}, \quad (1)$$

где σ_{ij} – элемент тензора напряжений, u_i – элемент вектора перемещений, ρ – плотность,

F_i – элемент вектора плотности массовых сил,

геометрические соотношения:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}), \quad i, j = \overline{1,3}, \quad (2)$$

где ε_{ij} – элемент тензора деформаций,

уравнение непрерывности электрической индукции:

$$D_{i,i} = 0, \quad i = \overline{1,3}, \quad (3)$$

где D_i – элемент вектора индукции электрического поля,

определяющие соотношения с учетом пьезоэлектрического эффекта:

$$\begin{cases} \sigma_i = c_{ij}^E \varepsilon_j - e_{mi} E_m \\ D_m = e_{mi} \varepsilon_i + \lambda_{mk}^E E_k \end{cases}, i, j = \overline{1, 6}, k, m = \overline{1, 3}, \quad (4)$$

где E_i – элемент вектора напряженности, c_{ij}^E – элемент матрицы упругости, вычисленный при постоянной напряженности, e_{ij} – элемент матрицы пьезомодулей, λ_{mk}^E – элемент матрицы диэлектрических проницаемостей, вычисленный при постоянной деформации.

Датчик давления моделировался с помощью программного продукта конечно–элементного моделирования ANSYS на языке APDL. На первом этапе была решена квазистатическая задача, в которой исследовалось поведение датчика под действием статического напряжения $\sigma = 1$ Мпа. Полученное решение соответствует аналитическому решению из работы [3].

Далее рассматривалось поведение датчика под действием нагрузки, изменяющейся по гармоническому закону. Данная задача решалась с помощью полного динамического анализа, в котором интегрирование описанных выше уравнений идет напрямую, и гармонического анализа, где решение ищется в виде функций, изменяющихся по гармоническому закону. Результаты соответствуют результатам, приведенным в работе [4].

Были вычислены коэффициенты a_1 , a_2 , связывающие напряжение на электролюминесцентном слое $U_{\text{люм}}$ с приложенным давлением σ и управляющим электрическим напряжением $U_{\text{упр}}$. Коэффициенты a_1 , a_2 определяется по формуле (5).

$$U_{\text{люм}} = a_1 U_{\text{упр}} + a_2 \sigma \quad (5)$$

На последнем этапе была рассмотрена модификация, описанного выше, датчика давление, которая заключается в разделении электролюминесцентного и пьезоэлектрического слоя на 6 равных секторов. Пьезоэлектрик является трансверсально–изотропным материалом, а его сектора имеют различное направление поляризации, которое является осью симметрии его трансверсально–изотропных свойств. В свою очередь сектора электролюминофора имеют различные цвета свечения, например, красный, синий и зеленый, для использования схемы RGB, которая будет использована в данной модели. Это позволяет получать различный отклик, в виде свечения, на различные направления и величины нагрузки и получать информацию о сложном напряженном состоянии. Сам датчик, в отличие от приведенных выше моделей, внедрен в некоторую среду. Рассматривалось поведение датчика под действием различных частот и типах нагрузки (перемещения или напряжения), их вариантах (растяжения, сжатие, чистый сдвиг), а также различных амплитудах управляющего напряжения.

В результате решения данной задачи было выявлено, что с помощью управляющего электрического напряжения можно увеличить интенсивность свечения электролюминофора, а наиболее интенсивным в подавляющем числе численных экспериментов является красный цвет. Это объясняется тем, что направление главной оси transversально–изотропных свойств пьезоэлектрика, установленного у электролюминофора красного цвета, является радиальным, что обеспечивает наилучшие пьезоэлектрические свойства.

Библиографический список

1. *Suresh R., Tjin S.C., Hao J.* Smart Materials in Structural Health Monitoring, Control and Biomechanics. Springer Berlin Heidelberg, 2012. P. 413–439
2. *Веснин В.Л., Иванов О.В., Низаметдинов А.М. и др.* Моделирование процессов неоднородной деформации датчиков на основе волоконно–оптических брэгговских решеток // Радиоэлектронная техника. 2017. № 1 (10). С. 44–50.
3. *Паньков А.А.* Математическое моделирование пьезоэлектролюминесцентного эффекта и диагностика распределения давления по длине оптоволоконного датчика // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2016. № 4. С. 289–302.
4. *Паньков А.А.* Максвелл-вагнеровская релаксация электрических полей в пьезоэлектролюминесцентном оптоволоконном датчике вибродавления// Журнал радиоэлектроники: электронный журнал. 2017. № 11.

EVALUATION OF OPERATIONAL PARAMETERS OF PIEZOELECTROLUMINESCENT FIBER-OPTIC PRESSURE SENSOR UNDER HARMONIC LOADING CONDITIONS

Boyarshinov Dmitriy A., Smetannikov Oleg Yu.

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia,
614990, houston707@mail.ru

A model of a fiber-optic piezoelectroluminescent pressure sensor is constructed. The results obtained from solving problems in quasistatic and dynamic formulation are compared with the analytical solution. A method for modeling the electrical conductivity of piezoelectric materials in a complete dynamic setting is shown. The results obtained from the solution of the task in the full dynamic formulation using the described method are compared with the results obtained from the solution of the problem in the harmonic formulation. A modification of the pressure sensor is considered, which consists in dividing the electroluminescent and piezoelectric layer into 6 equal sectors, which allows us to consider the complex stress-strain state of the external environment. The glow colors generated by the pressure sensor under various loads are obtained. The influence of such load parameters as the amplitude, frequency, and phase of the mechanical load, as well as the influence of the magnitude and frequency of the electric voltage applied to the sensor, is studied.

Keywords: piezoelectroelasticity, electroluminophor, optical fiber, pressure sensor.

**ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИИ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ
В РАМКАХ МЕХАНИКИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТВЁРДЫХ ТЕЛ
И ПРЕДЛОЖЕНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ**

Кротких Андрей Александрович, Максимов Пётр Викторович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр-кт 29, andrei.krotkih@gmail.com

В работе анализируются текущие тенденции в использовании технологии нейронных сетей в приложении к решению задач топологической оптимизации в рамках механики деформируемых твёрдых тел. Основная идея использования нейронных сетей заключается в ускорении процесса получения готового решения на базе существующего набора известных решений. Авторы работы демонстрируют существующие топологии нейронных сетей, предназначенных для решения двумерных задач топологической оптимизации, проблемы, связанные с использованием подобной технологии и собственную идею топологии нейронной сети для решения прикладной задачи топологической оптимизации.

Ключевые слова: топологическая оптимизация, нейронные сети

Технологии нейронных сетей начали активно развиваться и использоваться повсеместно в связи с открывшейся парадигмой извлечения правил на основании набора данных, отображающих входные данные и выходные и развитием технических возможностей для реализации алгоритмов глубокого обучения, которые требуют существенных вычислительных мощностей. Возможность генерации правил на основании такого набора данных предоставляют все алгоритмы машинного обучения. На текущий момент “вершиной” машинного обучения считаются глубокие нейронные сети, которые решают широкий спектр прикладных задач: классификации, кластеризации, генерации и идентификации.

Первые работы, связанные с применением нейронных сетей в решении прямой задачи топологической оптимизации в двумерной постановке, появились в 2017 году, когда авторский коллектив в лице Ivan Sosnovik и Ivan Oseledets, опубликовали работу и представили топологию нейронной сети

(Рисунок 1) для ускорения процесса топологической оптимизации на базе SIMP метода [1].

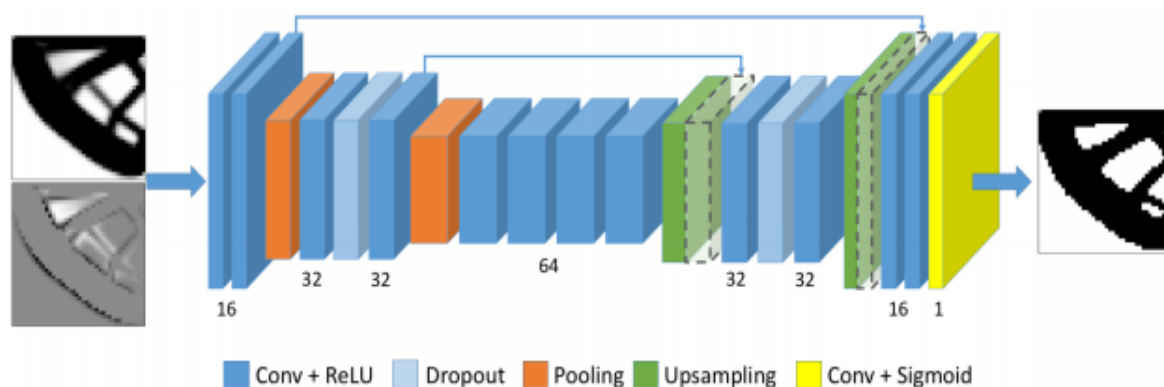


Рисунок 1 – Топология нейронной сети, предложенная Ivan Sosnovik и Ivan Oseledets

Была предложена идея получения результата топологической оптимизации без реализации итерационного процесса, который существенно замедляет получение итогового решения. Авторами этой идеи выступили Yonggyun и др. Была представлена архитектура сети и описана проблематика решения задачи топологической оптимизации средствами машинного обучения [2]. В 2019 году авторский коллектив в лице Yiquan Zhang и др. разработали топологию сверточной нейронной сети для решения двумерной задачи топологической оптимизации с высокой степенью генерализации решения [3]. В 2020 году развитие методологии применения технологии нейронных сетей в рамках задач топологической оптимизации продолжается, авторский коллектив в лице Zhenguang Nie и др. из университета Карнеги предложили архитектуру GAN (generative-adversarial-network) сети для решения задачи топологической оптимизации в двумерной постановке [4]. В вышеперечисленных работах важной информацией является набор техник и методов, специфичных для решения задачи топологической оптимизации, в частности, использование U-net при разработке архитектуры сетей было обнаружено в большинстве работ, система encoder-decoder, используемая в архитектурах сетей для распознавания объектов на фотографиях, была определена как наиболее подходящая для решения подобных задач. По сути, задача нейронной сети в решении топологической оптимизации сводится к распознаванию оптимальной формы объекта в виртуальном пространстве плотностей. В вышеперечисленных работах рассматривалась только двумерная постановка задачи.

Авторы работы предлагают сформулировать требования к решению задачи топологической оптимизации в трёхмерной постановке. Основной проблемой любой нейронной сети является всеобъемлющий набор данных, необходимый

для обучения. Соответственно, необходимо создать генератор решений для случайных задач топологической оптимизации в трехмерных постановках. Базовым методом оптимизации может выступать как Level-Set метод, так и методы из группы гомогенизационных методов: SIMP и BESO. Этот генератор будет предоставлять необходимый набор данных, по сути реализовывать процесс, называемый “data augmentation”. Второй проблемой подобной задачи будет являться необходимость адаптации существующих топологий нейронных сетей под трёхмерные объекты исследования. В частности, если задача в рамках двумерной топологической оптимизации была неким эквивалентом распознавания образов в фотографии, то в трехмерной постановке она эквивалентна задаче распознавания образов в потоковой передаче изображений. Этот переход существенно изменяет глубину и архитектуру нейронной сети.

В рамках представленной работы авторы предлагают обобщить результаты существующих исследований в области применения технологии нейронных сетей и осуществить переход к решению задачи топологической оптимизации в трехмерной постановке с использованием сверточной нейросети с собственными ядрами свертки и настройками пулинга для имитации распределения плотностей в трехмерном пространстве. При этом будет разработана своя метрика оценки точности и своя функция потерь для оценки качества работы нейронной сети, которые будут включать в себя критерии жесткости, усталостной прочности и геометрический потенциал. На текущий момент авторы реализовали систему генерации произвольных решений с помощью Level-set метода на языке python. Прототип нейронной сети реализован в фреймворке Tensorflow.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по государственному заданию FSNM-2020-0028.

Библиографический список

1. *Ivan Sosnovik, Ivan Oseledets*, Neural networks for topology optimization // arXiv:1709.09578, 2017.
2. *Yonggyun Yu, Taeil Hur, Jaeho Jung, In Gwun Jang*, Deep learning for determining a near-optimal topological design without any iteration // 2018.
3. *Yiquan Zhang, Bo Peng, Xiaoyi Zhou, Cheng Xiang, Dalei Wang*, A deep convolutional neural network for topology optimization with strong generalization ability // arXiv.org/abs/1901.07761, 2019.
4. *Zhenguo Nie, Tong Lin, Haoliang Jiang, Levent Burak Kara*. TopologyGAN: Topology optimization using generative adversarial networks based on physical fields over the initial domain // arXiv:2003.04685v2, 2020.

**ESTIMATION OF THE APPLICABILITY OF NEURAL NETWORK
TECHNOLOGY FOR SOLVING TOPOLOGICAL OPTIMIZATION
PROBLEMS IN MECHANICS
OF DEFORMABLE SOLID BODIES AND PROPOSING A
CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK FOR SOLVING APPLIED
PROBLEMS**

Krotkikh Andrey A., Maximov Petr V.

Perm National Research Polytechnical University, Komsomolsky Av. 29, Perm,
Russia, 614990

The article analyzes the current trends in the use of neural network technology as applied to solving topological optimization problems within solid mechanics. The main idea of using neural networks is to speed up the process of obtaining a ready-made solution based on an existing set of known solutions. The authors of the work demonstrate the existing topologies of neural networks intended for solving two-dimensional problems of topological optimization, problems associated with the use of such technology and their own idea of the topology of a neural network for solving an applied problem of topological optimization.

Keywords: topology optimization, neural network

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫХ ОБРАЗЦОВ МЕТОДОМ ФОТОУПРУГОСТИ

Кузьмичева Мария Дмитриевна

Ивановский государственный энергетический университет, 153003, Россия,
г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, mashanote@mail.ru

Шилов Михаил Александрович

Ивановский государственный энергетический университет, 153003, Россия,
г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, mshilov@yandex.ru

Рассматриваемая статья имеет название "Определение напряженно-деформированного состояния оптически прозрачных образцов методом фотоупругости". Поляризационно оптический метод используется сегодня для исследования различных классов задач механики деформируемого твердого тела – задач теории упругости (метод фотоупругости), пластичности (метод фотопластичности), ползучести (метод фотоползучести), вязкоупругости (метод фотовязкоупругости) и др. Метод фотоупругости позволяет с достаточной степенью точности получать количественные оценки распределения напряжений, а в отношении простоты и наглядности он выгодно отличается от других экспериментальных методов исследования напряженного состояния и поэтому требует отдельного исследования. Структура работы включала в себя проведение эксперимента по получению полей напряжений в оптически изотропных образцах из оргстекла и сопоставление полученных результатов с данными аналитического расчета и конечно-элементного моделирования.

Ключевые слова: фотоупругость, поляризационно-оптическая картина, напряжения, деформируемое твердое тело.

Метод фотоупругости является широко распространенным экспериментальным методом решения задач механики деформируемого твердого тела. Он позволяет определять распределение напряжений (деформаций) на прозрачных моделях в исследуемой области без использования аппарата математической теории упругости [1]. В качестве самых распространенных материалов моделей деталей, исследуемых методом фотоупругости, выбирают органическое стекло.

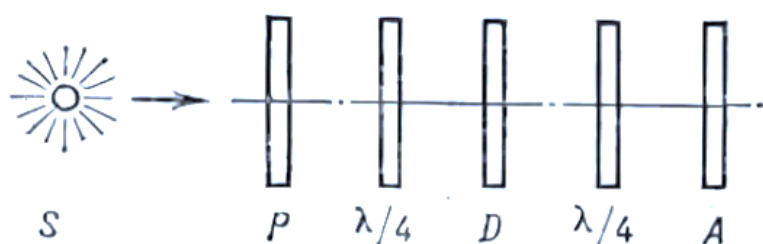
Органическое стекло (полиметилметакрилат) – полимер на основе винила, представляющий собой оптически прозрачный термопластичный материал. В

работе проводилось экспериментальное определение напряжений, возникающих в оптически прозрачном диске, выполненном из оргстекла марки СЭП ГОСТ 17622-72 (технические характеристики которого указаны в ГОСТ [2]), методом фотоупругости на специально разработанной экспериментальной установке. Физико-механические характеристики оргстекла данной марки получены в соответствии с методикой, представленной в ГОСТ 11262-2017 Пластмассы [3].

Методика экспериментального исследования разработана с учетом особенности собранной экспериментальной установки, продемонстрированной на рисунке 1а.



а)



б)

Рисунок 1 – Экспериментальная установка: а) вид спереди; б) вид слева (оптическая ось)

Исследуемый образец помещали между двух поляризаторов (поляризатора и анализатора). Для исключения попадания света с другой длиной волны проводили светоизоляцию области эксперимента. С этой целью изготовлен корпус в форме трубы. К нему прикреплены источник монохроматического света. Чтобы получить картину фотоупругости на одной оптической оси установлены: источник белого света S , поляризатор P , образец D , анализатор A , а также 2 пластины на четверть длины волны, преобразующие линейно поляризованный свет в свет, поляризованный по кругу (Рисунок 1б).

Статическое одноосное нагружение (сжатие) происходило перпендикулярно оптической оси. Схема нагружения диска показана на рисунке 2.

В процессе нагружения диска одноосной сжимающей нагрузкой 200 Н в плоскости экрана получили поляризационно-оптическую зависимость от прикладываемой нагрузки. На оптических картинах отчетливо различали полосы, отражающие распределение разности главных напряжений (деформаций) по образцу (изохромы) (Рисунок 3). В результате чего, с помощью знания значения цены полосы модели, были определены максимальные эквивалентные напряжения, возникающие в зоне контакта диска и сдавливающей поверхности, равные 13.58 МПа.

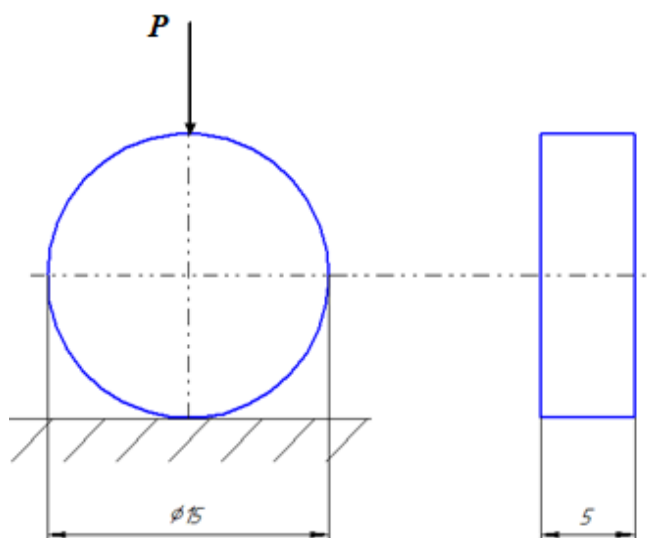


Рисунок 2 – Схема нагружения диска

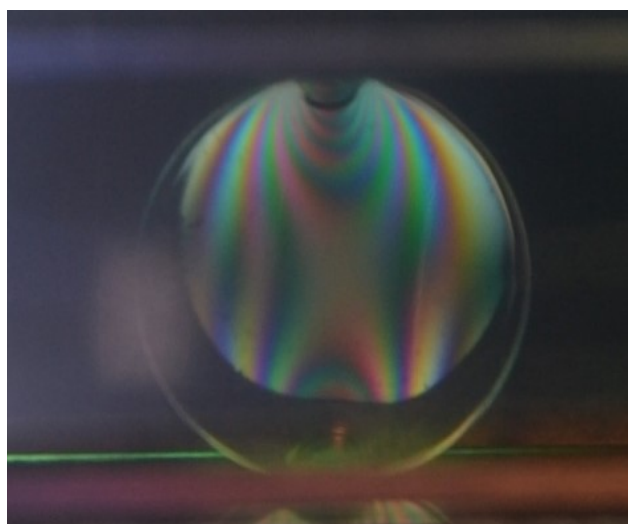


Рисунок 3 – Поляризационно-оптическая картина

По известным из теории упругости формулам был проведен аналитический расчет напряжений в плоском диске. В верхней части диска была проведена система координат, а расчет проходил в определенной координате образца. В

качестве расчета напряжений была выбрана энергетическая теория прочности. Согласно вычислениям, максимальные эквивалентные напряжения располагаются в области приложения нагрузки и равны 11.92 МПа.

После проведения эксперимента и аналитических вычислений появилась необходимость сопоставления результатов с данными конечно-элементного моделирования НДС диска в программном комплексе ANSYS Workbench.

Геометрия модели включала в себя построение эскиза, используя стандартные инструменты. После построения геометрии тела в декартовой системе координат, оно разбивалось на структурную сетку тетраэдральными типами элементов для достижения более точного результата. Генерация сетки проходила вручную. Силовыми и кинематическими граничными условиями модели были соответственно: распределенная сжимающая нагрузка равная 200 Н и жесткая заделка, ограничивающая линейные и угловые перемещения нижней плоскости модели. Назначалась шкала вывода – диапазон значений напряжений и соответствующие им цвета. Красным цветом обозначались значения максимальных напряжений, синим – минимальные. Согласно картине напряжений (Рисунок 4) наибольшие эквивалентные напряжения равны 14.46 МПа. Напряжения как по контуру диска, так и внутри него отсутствуют.

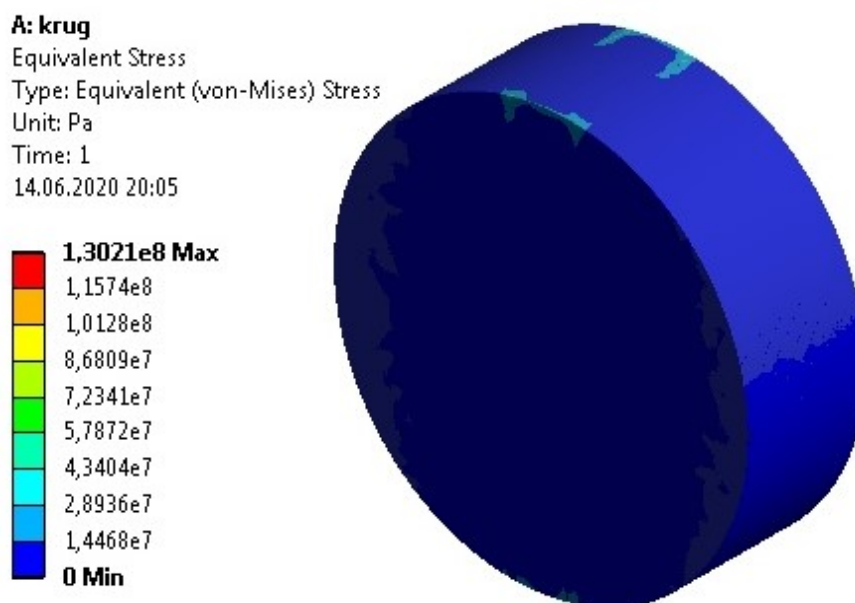


Рисунок 4 – Распределение напряжений по диску в КЭ моделировании

Сопоставляя полученные данные работы, можно заметить, что они близки друг другу. Оценка степени соответствия результатов эксперимента, аналитического расчета и конечно-элементного моделирования показала правильность и целесообразность метода фотоупругости. По результатам работы можно сделать вывод, что под действием нагрузки, прозрачный изотропный материал меняет свои оптические свойства и становится анизотропным.

Библиографический список

1. Шнейдер А.Е. Метод линейной фотоупругости : учеб. пособие / А.Е. Шнейдер; – Свердловск : Темплан, 1990. – 101с.
2. ГОСТ 17622-72 Стекло органическое техническое. Технические условия (с Изменениями N 2, 3, 4)
3. ГОСТ 11262-2017 Пластмассы. Метод испытания на растяжение

DETERMINATION OF THE STRESS-DEFORMED STATE OF OPTICALLY TRANSPARENT SAMPLES BY THE METHOD OF PHOTOELASTICITY

Kuzmicheva Maria D.

Ivanono State Power University, 34, Rabfakovskaya st., Ivanovo, 153003, Russia,
mashanote@mail.ru

Shilov Mikhail A.

Ivanono State Power University, 34, Rabfakovskaya st., Ivanovo, 153003, Russia,
mshilov@yandex.ru

The article under consideration is titled "Determination of the stress-strain state of optically transparent samples by the photoelasticity method". The polarization-optical method is used today to study various classes of problems in the mechanics of a deformable solid – problems in the theory of elasticity (photoelasticity method), plasticity (photoplasticity method), creep (photocreep method), viscoelasticity (photoviscoelasticity method), etc. The photoelasticity method allows with a sufficient degree of accuracy to obtain quantitative estimates of the stress distribution, and in terms of simplicity and clarity, it compares favorably with other experimental methods for studying the stress state and therefore requires a separate study. The structure of the work included carrying out an experiment on obtaining stress fields in optically isotropic Plexiglas samples and comparing the results obtained with the data of analytical calculations and finite element modeling.

Keywords: photoelasticity, polarization-optical picture, stresses, deformable solid.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ДВУХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ КОНФИГУРАЦИЙ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ

Лобанова Вероника Ивановна, Каменских Анна Александровна

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29,
anna_kamenskih@mail.ru

Адамов Анатолий Арсангалеевич

Институт механики сплошных сред УрО РАН, 614013, Россия, г. Пермь, ул.
Академика Королёва, д. 1

В рамках работы выполнен численный анализ влияния угла наклона торца антифрикционной полимерной прослойки сферических опорных частей на изменение параметров зон фрикционного контактного взаимодействия. Выполнено сравнение деформационного поведения двух вариантов сферических опорных частей: с антифрикционной прослойкой, расположенной в нижней плите опорной части и с антифрикционной прослойкой, нанесенной на сферический сегмент опорной части. Установлено, что уровень контактного давления в конструкции опорной части с антифрикционной прослойкой, нанесенной на сферический сегмент больше на 3,2-29,9 % в зависимости от угла наклона торца слоя скольжения, чем у второй рассмотренной конструкции.

Ключевые слова: сферическая опорная часть, контакт, трение, полимерные материалы, геометрическая конфигурация.

При современном росте урбанизации территорий континентов возрастают и требования, предъявляемые к транспортно-логистическим системам. Российская федерация не отстает от мировых конкурентов в вопросах научных исследований в данной отрасли. Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» выделен ряд направлений развития современной инженерной и научной деятельности, одно из которых затрагивает создание современных международных транспортно-логистических систем. В связи с этим за последние пять лет увеличилось число разработок, направленных на развитие транспортных и телекоммуникационных систем и их элементов. К

несущим элементам транспортных систем относятся опорные части пролетных строений мостов.

В работе рассмотрено фрикционное контактное взаимодействие верхней (1) и нижней стальной плиты (2) сферической опорной части через упругопластическую полимерную прослойку (3). Рассматривается два варианта геометрической конфигурации опорной части (Рисунок 1): с антифрикционной прослойкой, расположенной в нижней стальной плите – модель А; с антифрикционной прослойкой, нанесенной на сферический сегмент – модель Б.

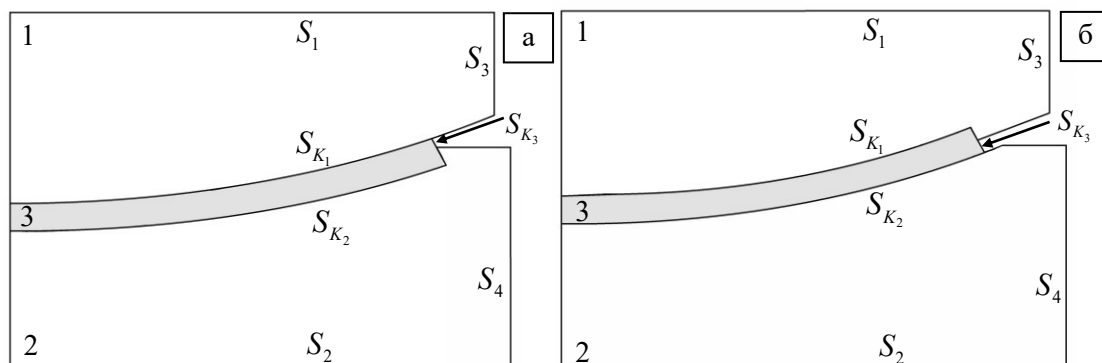


Рисунок 1 – Расчетные схемы сферических опорных частей: а) модель А; б) модель Б

Математическая постановка и геометрические характеристики сферических опорных частей отражены в [1]. Свойства модифицированного фторопласта, материала из которого выполнена прослойка, получены экспериментально [2]. В работе рассмотрены разные варианты оформления геометрической конфигурации торца, связанные с углом наклона слоя скольжения относительно плит сферической опорной части $\alpha_p = 0, 10, 20, 30$ (Рисунок 2).

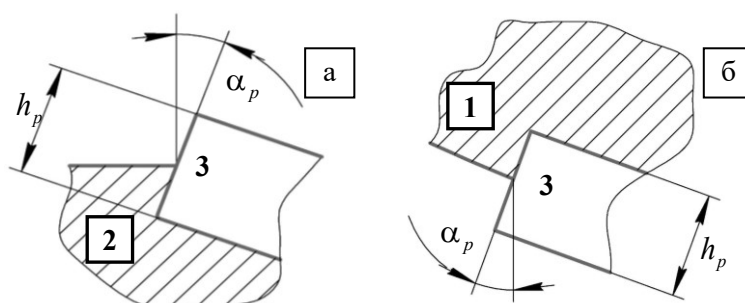


Рисунок 2 – Геометрия торца прослойки: а) модель А; б) модель Б

На рисунке 3 показано распределение контактных параметров на поверхностях скольжения, по которой возможен поворот сферического сегмента опорной части (S_{K1} для модели А, S_{K2} для модели Б) при разных углах наклона торца.

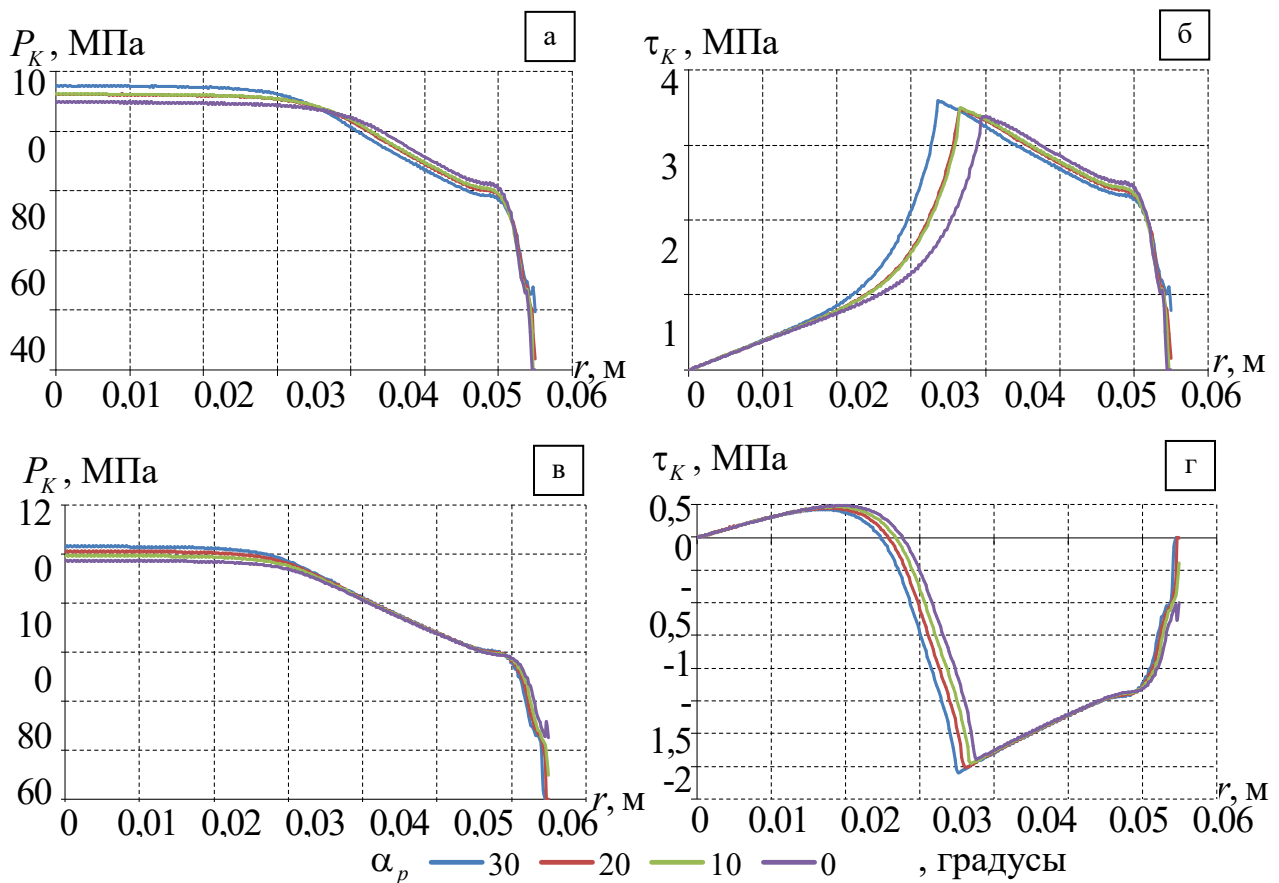


Рисунок 3 – Контактное давление (а, в) и контактное касательное напряжение (б, г): а, б – модель А; в, г – модель Б

Можно отметить, что характер распределения контактного давления для двух моделей отличается не значительно: в зоне полного сцепления контактных поверхностей уровень контактного давления практически не изменяется (центральная часть слоя скольжения), в области проскальзывания наблюдается плавное снижение уровня контактного давления к краю прослойки, при неблагоприятном случае до 0 (расхождение контактных поверхностей). Характер распределения контактного касательного напряжения у двух моделей отличается значительно. На рисунке 4. показано количественное сравнение параметров контакта двух моделей: максимальный уровень и значения вблизи края слоя скольжения.

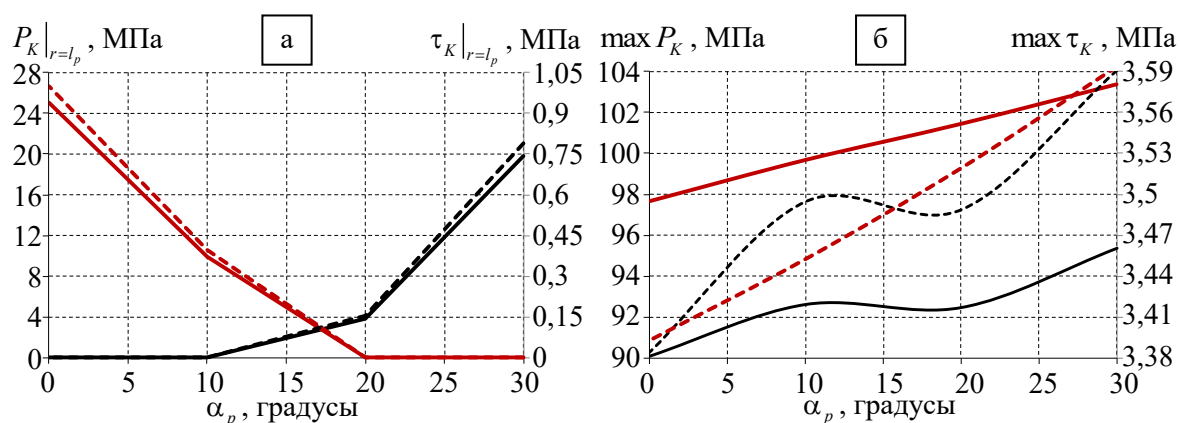


Рисунок 4 – Параметры контакта: а) край прослойки; б) максимальный уровень
черная линия – модель А; красная линия – модель Б; сплошная линия – P_K ;
пунктирная линия – τ_K

Отлипание контактных поверхностей вблизи края прослойки наблюдается в модели А при углах 0-10 градусов, в модели Б при углах 20-30 градусов. Можно отметить, что максимальный уровень контактных параметров на краю прослойки модели А на 20-25 % ниже, чем у модели Б. Максимальный уровень контактного давления вблизи края слоя скольжения для модели А наблюдается при угле наклона торца антифрикционной прослойки 20 градусов, для модели Б – при 0 градусов. Максимальный уровень контактных параметров модели А изменяется не линейно и ниже, чем у модели Б на 3,2-29,9 %.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-08-00903).

Библиографический список

1. Каменских А.А., Адамов А.А. Численное исследование сферического контактного узла с полимерной антифрикционной прослойкой // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2012. – № 3-2. – С. 48-55.
2. Адамов А.А., Каменских А.А., Носов Ю.О. Математическое моделирование поведения современных антифрикционных полимеров // Прикладная математика и вопросы управления. – 2019. – № 4. – С. 43-56.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONTACT INTERACTION OF ELEMENTS OF TWO GEOMETRIC CONFIGURATIONS OF BEARINGS

Lobanova Veronika I., Kamenskikh Anna A.

Perm national research polytechnic university, 614000, Russia, Perm, Komsomolsky
Av. 29, anna_kamenskih@email.ru

Adamov Anatoly A.

Institute of Continuous Media Mechanics of the UB of RAS, 614013, Russia, Perm,
Academician Korolev Street, 1

A numerical analysis of the influence of the angle inclination butt of the antifriction polymer layer of spherical bearings on the change in the frictional contact interaction zones parameters was carried out within the framework of this work. Deformation behavior comparison of two variants of spherical bearings is carried out: with an antifrictional layer located in the bearing bottom plate and with an antifrictional layer applied to the spherical segment of the bearing. It was found that the contact pressure level in the bearing with an antifrictional layer applied to the spherical segment on 3.2-29.9% higher depending on the sliding layer angle inclination butt than in the second considered structure.

Keywords: spherical bearing, contact, friction, polymeric materials, composite materials, geometric configuration.

СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ДИСКА С РАЗЛИЧНЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПРОКЛАДКАМИ ТОРМОЗНОЙ КОЛОДКИ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ABAQUS

Лопырев В.А.

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина,
153003, Россия, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, lopyrev.valera@mail.ru

Шилов М.А.

Вятский государственный университет, 610000, Россия, г. Иваново,
ул. Московская, 36.

В работе проведено моделирование тормозной системы автотранспортного средства (АТС) при больших нагрузках и температурный анализ колодок с различной геометрией фрикционных подкладок. Для этого использован программный комплекс конечного моделирования Abaqus. В качестве геометрических объектов накладки тормозной колодки использованы три типа геометрических фигур: цилиндр, треугольная и шестигранная призмы. Задачу решали в трехмерной постановке. Время торможения составляло 0,5 с. В качестве материала диска использовали сталь, колодки – асбест. Показано, что изменение геометрии поверхности колодки привело к изменению температуры в зоне контакта с 260 до 1028 °С. Максимальные касательные напряжения в зоне контакта составляли 53,5 МПа. Компоненты тензора напряжений S_{11} , S_{22} в плоскости контакта имеют отрицательные значения, что соответствует сжатию.

Ключевые слова: температурный анализ; термодинамические процессы, трибологическая система; конечно-элементный анализ, Abaqus.

Введение

Исследования процессов прогрева и влияния температуры на степень износа являются важной задачей машиностроения. В автотранспортных средствах (АТС) одной из важнейших систем является тормозная система. Она играет большую роль как в управлении АТС, так и в его безопасности. В современном мире зачастую приходится использовать различную массивную спецтехнику (пожарные, грузовые машины), которые в следствии своей массы очень инертны и вопрос о сокращении времени торможения АТС встает напрямую. Тормозные колодки представляют собой металлическую пластину, на которую крепятся специальные накладки, состоящие из фрикционных материалов. На их поверхности посредством трения механическая энергия

преобразуется в тепловую. Так как они нагреваются, то их проектируют и подбирают материалы таким образом, чтобы коэффициент трения сохранялся в широком диапазоне температур – от 0° до 350°C . Однако при превышении этих температур наступает момент резкого падения коэффициента трения под действием избыточной температуры, и дальнейший перегрев колодок может привести к их разрушению. В связи с вышеизложенным, целью работы стало создание модели, позволяющей оценить температурное взаимодействие диска и тормозной колодки с учетом различной геометрии прокладки.

Постановка задачи

Имелся вентилируемый тормозной диск радиусом 130 мм, геометрия которого представлена на рисунке 1. Материал диска – серый чугун. Тормозные колодки с накладками представлены на рисунке 2. Скорость вращения диска 1,8 рад/с. Прижимное давление составляло – 1,4 МПа. Коэффициент трения 0,25. Необходимо найти температуру трибосистемы «диск – колодка» при различной геометрии подкладки, определить наиболее рациональную модель колодки для использования в тормозной системе. Свойства материалов колодки с различными подкладками одинаковы, т.к. исследовалось только влияние геометрии на выделение тепла посредством трения. Из-за того, что расчетное время составляет 0.5 секунд, материал не успевал нагреться до критических температур, поэтому изменением его свойств под влиянием температуры пренебрегали. Свойства материалов представлены в таблице 1.

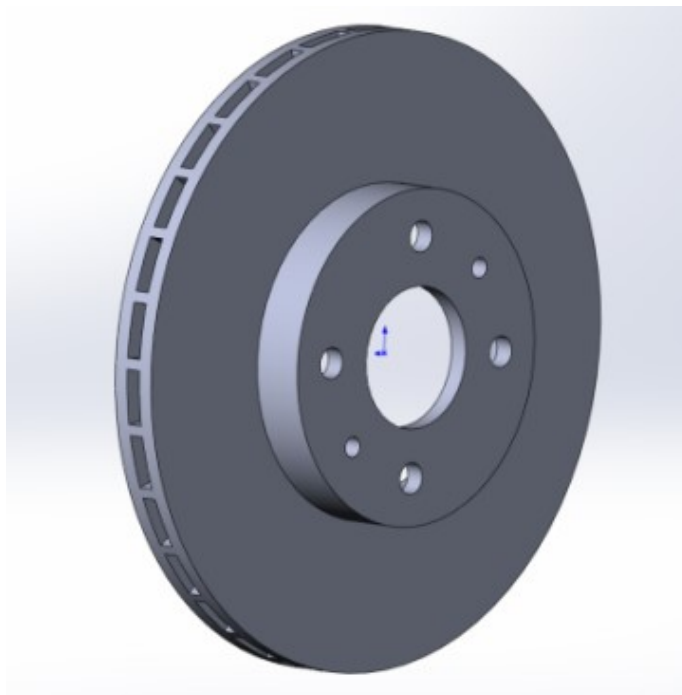


Рисунок 1 – Тормозной диск

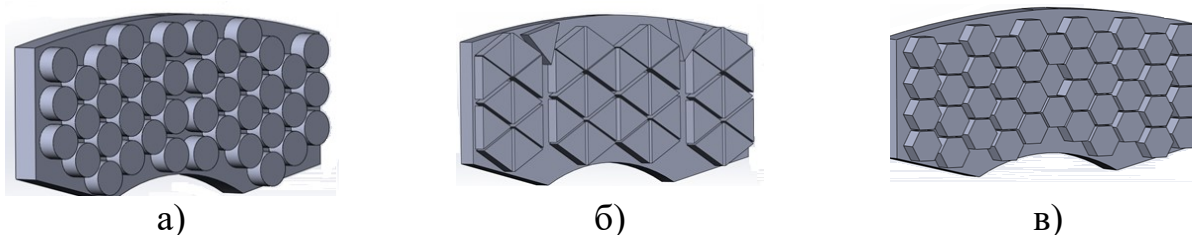


Рисунок 2 – Тормозные колодки с накладками: а) колодка с круглым основанием накладки. б) колодка с треугольным основанием накладки. в) колодка с шестигранным основанием накладки

Таблица 1 – Свойства используемых материалов.

№ п/п	Физическая величина	Размерность	Значение	
			Диска	Колодки
1	Теплопроводность	К	57	5
2	Плотность	$\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	7250	1400
3	Упругость	ГПа	138	1
4	Удельная теплоемкость	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	460	1000
5	Коэффициент Пуассона	ν	0,25	0,25

Одним из главных условий моделирования являлось равенство площадей всех элементов (независимо от типа основания фрикционной подкладки), а также равенство суммарных площадей подкладок. Площадь одного элемента подкладки: $63,62 \text{ мм}^2$. Суммарная площадь всех элементов подкладки: 2672 мм^2 . Расчет температуры в тормозном диске автомобиля проводили по:

$$T_d = \frac{m_d \cdot (\omega_d^2)}{c_d} \cdot \frac{4c_d \cdot A_d}{e^{\sigma_d \cdot m_d}} \quad (1)$$

где ω_d – скорость вращения диска, c_d – теплоемкость диска, A_d – площадь поверхности диска, σ_d – коэффициент теплоотдачи диска, m_d – масса диска. Коэффициент теплоотдачи характеризует интенсивность процесса теплоотдачи. Коэффициент теплоотдачи составлял $\sigma_d = 4,7$.

Моделирование тормозной системы в программном комплексе Abaqus

При моделировании исследуемых объектов использованы некоторые допущения:

1. В силу симметрии системы задняя часть диска и вторую колодку из расчета исключили.

- 2) Поскольку центральная часть диска и металлическая часть колодки не участвуют в процессе теплообразования, то исключили и их.

Допущения позволили упростить геометрию системы. Колодку фиксировали относительно всех степеней свободы, кроме движения вдоль оси Z. На все связанные элементы подкладки прикладывали давление 1,4 МПа. Диск вращали с угловой скоростью 127,7 рад/с (60 км/ч). Расстояние между диском и фрикционной подкладкой отсутствует. Распределение температуры систем приведено на рисунке 3.

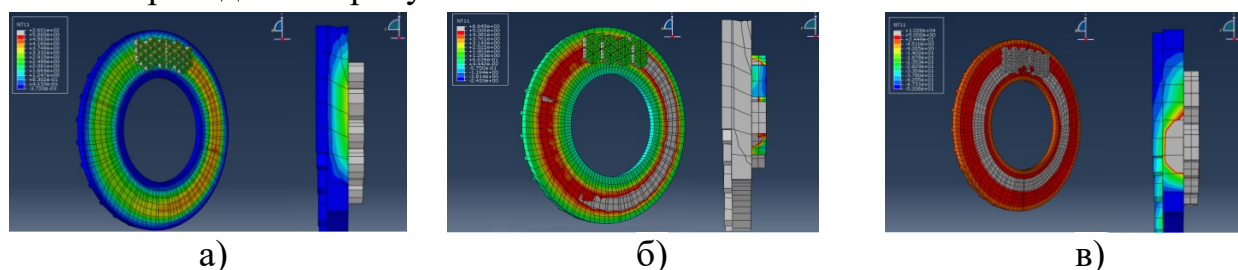


Рисунок 3 – Распределение температуры: а) распределение температуры системы «диск – колодка» с круглым основанием накладки. б) распределение температуры системы «диск – колодка» с треугольным основанием накладки. в) распределение температуры системы «диск – колодка» с шестиугольным основанием накладки.

Результаты и их обсуждение

В работе решена задача поиска температуры тормозной системы АТС. В программном комплексе Abaqus разработана упрощенная модель системы «диск – колодка» с различными типами фрикционных подкладок. В табл. 2 представлены значения максимальных температур для различных типов подкладок.

Таблица 2 – Результаты моделирования тормозной системы «диск – колодка».

Тип основания фрикционной подкладки	Значение температуры, выделенное системой, °С
Круглый	260
Треугольный	664
Шестигранный	1028

Анализ моделей показал, что наиболее сильный нагрев испытала колодка с шестигранным основанием подкладок. Наименее нагретой оказалась подкладка с круглым основанием фрикционной подкладки. Результаты работы могут быть использованы в оценке влияния геометрии колодки на температурную стабильность трибосистемы «тормозной диск – колодка».

Библиографический список

1. *Гриб В.В.* Решение триботехнических задач численными методами. – М.: Наука, 1982. – 112 с.
2. *Осепчуков В.В.* Автомобиль. Анализ конструкций и элементы расчета / В. В. Осепчуков, А. К. Фрумкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
3. *Носко А.Л., Носко А.П.* Тепловые процессы в узлах трения машин. – М.: Известия вузов. Машиностроение, 2005. – № 11.
4. *Бухарин А.А.* Тормозные системы автомобилей / А. А. Бухарин. – М.: Машизд, 1950. – 286 с.

COMPARISON OF THE DISK TEMPERATURE FIELDS WITH DIFFERENT GEOMETRIC BRAKE PADS USING THE ABAQUS SOFTWARE PACKAGE

Lopyrev Valery A.

Ivanovo State Power Engineering University, Rabfakovskaya St. 34, Ivanovo, Russia,
153003, lopyrev.valera@mail.ru

Shilov Mikhail A.

Vyatka State University, 36 Moskovskaya St., Kirov, 610000, Russia

In this paper, a simulation of the vehicle brake system (VBS) under heavy loads and a temperature analysis of pads with different geometry of friction linings are performed. For this purpose, the Abaqus software package for final modeling is used. Three types of geometric shapes are used as geometric objects of the brake pad lining: cylinder, triangular and hexagonal prisms. The problem was solved in a three-dimensional setting. The braking time was 0.5 s. Steel was used as the disc material, and asbestos was used as the pads. It is shown that the change in the geometry of the pad surface led to a change in the temperature in the contact zone from 260 to 1028 °C. The Maximum tangential stresses in the contact zone were 53.5 MPa. The components of the stress tensor S_{11} , S_{11} in the contact plane have negative values, which corresponds to compression.

Keywords: Temperature analysis; thermodynamic processes, tribological system; finite element analysis, Abaqus.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПЛАТИКАХ ПРИ КЛЕЕВОМ И СВАРОЧНОМ СОЕДИНЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ МАЯТНИКОВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

Мальцев Алексей Сергеевич, Максимов Петр Викторович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, Lekanys@mail.ru

Построена модель кварцевого маятникового акселерометра КА-1. Выявлены факторы сборки, которые оказывают наибольшее влияние на измерительную погрешность акселерометра. Обнаружено, что распределение контактного давления на платиках является существенным фактором, влияющим на измерительную погрешность акселерометра. Исследовано влияние типа соединения на распределение контактного давления на платиках. По полученным результатам было выявлено, что клеевое соединение лучше обеспечивает равномерное распределение контактного давления на платиках, чем сварное, однако, сила давления на платиках со сварочным соединением остается той, которую прикладывают изначально.

Ключевые слова: акселерометр, метод конечных элементов, механика деформируемого твердого тела, контактная задача.

В настоящее время существует высокая потребность в инерциальных навигационных системах (ИНС), которые часто применяются в самолетах, ракетах, судах и наземных транспортных средствах. Важной составляющей таких систем является высокочувствительный акселерометр. Одним из наиболее распространенных в России является кварцевый маятниковый акселерометр, поэтому актуальными становятся задача моделирования физико-механических явлений, характерных для данного типа акселерометров [1, 2], например, многовариантное моделирование процесса сборки акселерометра с учетом различных технологических операций, температурных полей, влияния способов сборки датчика на работу датчика, его точность, тяжение и иные параметры. Основное внимание в данной работе уделено контактному взаимодействию между деталями и способу их соединения (клеевые и сварочные). В статье представлена методика моделирования процесса склеивания (сваривания) на примере маятникового акселерометра.

Объектом исследования является кварцевый маятниковый акселерометр КА-1. Основная его конструкция представлена на рисунке 1.

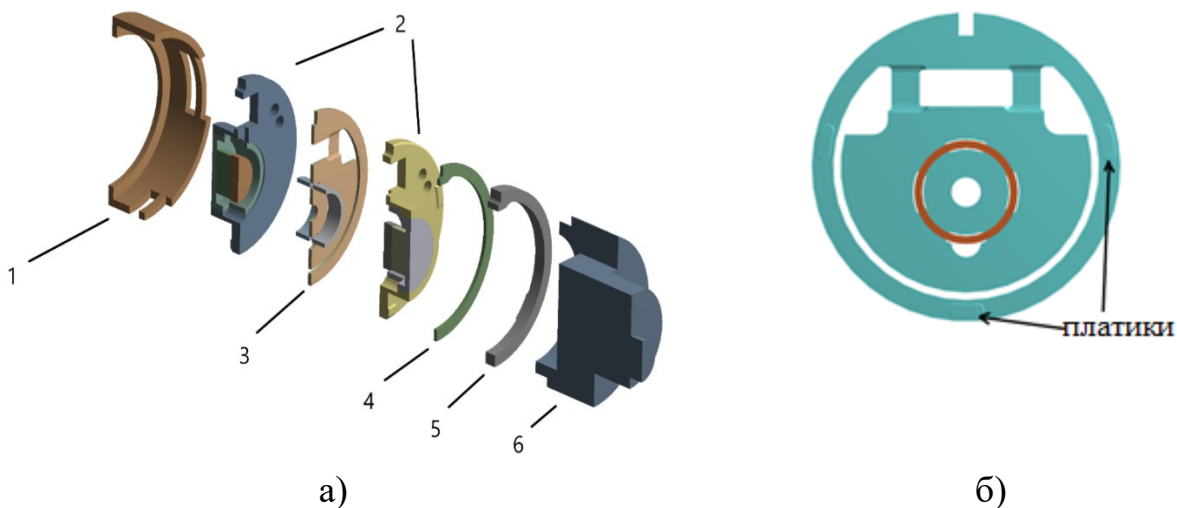


Рисунок 1 – Конструкция КА-1: а) основные элементы акселерометра: 1- втулка обоймы, 2-верхняя\нижняя магнитная система (МС), 3-подвес, 4-пружина, 5-запорное кольцо, 6-державка. б) пластики на подвесе.

Математическая постановка задачи включает в себя следующие уравнения:

уравнение равновесия для произвольной системы координат:

$$\sigma_{,j}^{ij} + \rho F^i = 0,$$

физические соотношения, учитывающие температурные деформации тела:

$$\begin{cases} \sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} - \beta_{ij} \Delta T \\ \varepsilon_{ij} = S_{ijkl} \sigma_{kl} - \alpha_{ij} \Delta T \end{cases},$$

граничные условия представляют собой запрет на перемещения вдоль акселерометра в нижней границе Γ_1 втулки обоймы:

$$u|_{\Gamma_1} = 0,$$

контактные условия:

$$\begin{aligned} u_n^{(1)}|_{\Gamma_c} &= u_n^{(2)}|_{\Gamma_c}; \\ \sigma_n^{(1)}|_{\Gamma_c} &= \sigma_n^{(2)}|_{\Gamma_c}; \end{aligned}$$

где $u_n^{(i)}$, $\sigma_n^{(i)}$ – нормальные перемещения и нормальные напряжения для i -го тела, Γ_c – область соприкосновения клея(сварки) с втулкой обоймы и с магнитной системой.

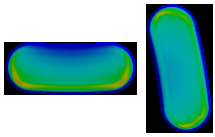
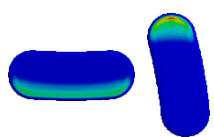
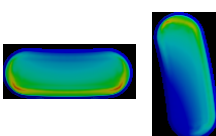
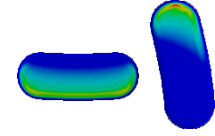


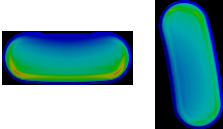
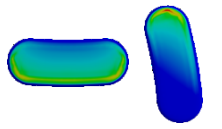
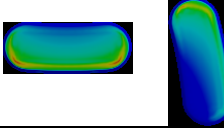
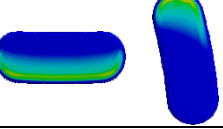
Рисунок 2 – а) клеевое соединение; б) сварное соединение.

Используется методика “рождения и смерти” конечных элементов в ANSYS для моделирования клеевого и сварочного соединения (Рисунок 2), которая заключается в том, что жесткость “мертвых” элементов понижается до около нулевого значения. Принцип моделирования сборки акселерометра с помощью такого метода заключается в том, что вначале считается задача без клея или сварки, все комплектующие акселерометра собираются и сжимаются державкой, такой этап называется сжатие. Далее, чтобы сохранилось усилие, запорное кольцо и магнитную систему соединяют с втулкой обоймы, т.е “оживляют” элементы сварки или клея, включают контакты в местах соединения.

В ходе моделирования и экспериментов было выявлено, что распределение контактного давления на платиках подвеса (рисунок 1б) вносит значительный вклад в измерительную погрешность акселерометра. Была проведена численная оценка напряженно-деформированного состояния элементов акселерометра при различных видах соединения магнитной системы с втулкой обоймы, что непосредственно влияет на распределение контактных давлений на платиках подвеса. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Контактные давления при различных способах сборки

Режим	Клеевое соединение	Сварочное соединение
Сжатие	1,04 МПа 	1,06 МПа 
22 °C	5,72 МПа 	2,45 МПа 

Режим	Клеевое соединение	Сварочное соединение
85 °С	1,29 МПа 	1,98 МПа 
минус 60 °С	11,4 МПа 	3,42 МПа 

Из представленных в таблице результатов видно, что клеевое соединение для данной конструкции обеспечивает более равномерное распределение давления при различных температурах, чем сварное соединение, однако на сварочном соединении обеспечивается меньший разброс контактного давления на планках.

Библиографический список

1. Гусарев Д.С. Моделирование работы кварцевого маятникового акселерометра с замкнутым контуром управления. // Известие Тульского государственного университета. Технические науки. 2019. №8. С. 77-83.
2. Максимов П.В., Конотон Д.А. Численная модель маятникового акселерометра с учетом электрического аналогового контура обратной связи. // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 7. С. 127-130.

NUMERICAL MODELING OF CONTACT STRESSES DURING GLUE OR WELDING OF PENDULUM ACCELEROMETER ELEMENTS

Maltsev Aleksey S., Maksimov Petr V.

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614990, Lekanys@mail.ru

A model of the quartz pendulum accelerometer KA-1 is built. The assembly factors that have the greatest influence on the measuring error of the accelerometer are revealed. It was found that the distribution of contact pressure on the platform is a significant factor affecting the measuring error of the accelerometer. The influence of the type of connection on the contact pressure platform on the plates is investigated. According to the results obtained, it was revealed that the welding joint provides a better distribution of contact pressure on the plates than adhesive.

Keywords: accelerometer, finite element method, contact task, “death and birth” elements

О ДЕФОРМИРОВАНИИ ПЛОСКОГО АНТИФРИКЦИОННОГО СЛОЯ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА

Носов Юрий Олегович, Каменских Анна Александровна

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29,
anna_kamenskih@mail.ru, ura.4132@yandex.ru

Адамов Анатолий Арсангалеевич

Институт механики сплошных сред УрО РАН, 614013,
Россия, г. Пермь, ул. Академика Королёва, д. 1, adamov.aa@ya.ru

В рамках исследования деформационного поведения тонкого слоя скольжения с лунками для смазки, проведена серия численных экспериментов о деформировании ячейки периодичности из современных полимеров и композитов на их основе. Проведен анализ деформационного поведения ячейки периодичности при приложенном давлении от 5 до 90 МПа. Выполнен анализ контактных параметров, а также напряженно-деформированного состояния ячейки периодичности. Проанализировано влияние фрикционных свойств различных материалов на деформационное поведение численной модели.

Ключевые слова: ячейка периодичности, контакт, трение, антифрикционный материал.

В настоящее время многие конструкции работают в условиях фрикционного контактного взаимодействия. Узлы трения встречаются в медицине, машиностроении, аэрокосмической и многие других отраслях промышленности. При этом можно отметить и то, что в данных сферах в узлах трения широко используются современные антифрикционные полимеры и композиты на их основе. В рамках работы выполнен анализ деформационного поведения тонкого слоя скольжения с лунками для смазки, подобные прослойки используются в опорных частях мостовых сооружений. Рассмотрено три материала антифрикционного слоя: сверхвысокомолекулярный полиэтилен производства Германии, антифрикционный композиционный материал на основе фторопласта со сферическими бронзовыми включениями и дисульфидом молибдена (МАК) и модифицированный фторопласт. Из объема материала вырезана ячейка периодичности (Рисунок 1). Рассматривается осесимметричная задача, с различной толщиной прослойки $h_p = 4, 6, 8$ мм.

Рассматривается неблагоприятный случай, а именно отсутствие смазочного материала в лунке. На ячейку периодичности приложено давление от 5 до 90 МПа. Рассматривается задача фрикционного взаимодействия жесткой стальной плиты и упругопластической прослойки с заранее неизвестным пятном контакта и всеми типами контактных состояний (прилипание, проскальзывание, отлипание). В качестве описания модели поведения материала выбрана деформационная теория упругопластичности [1].

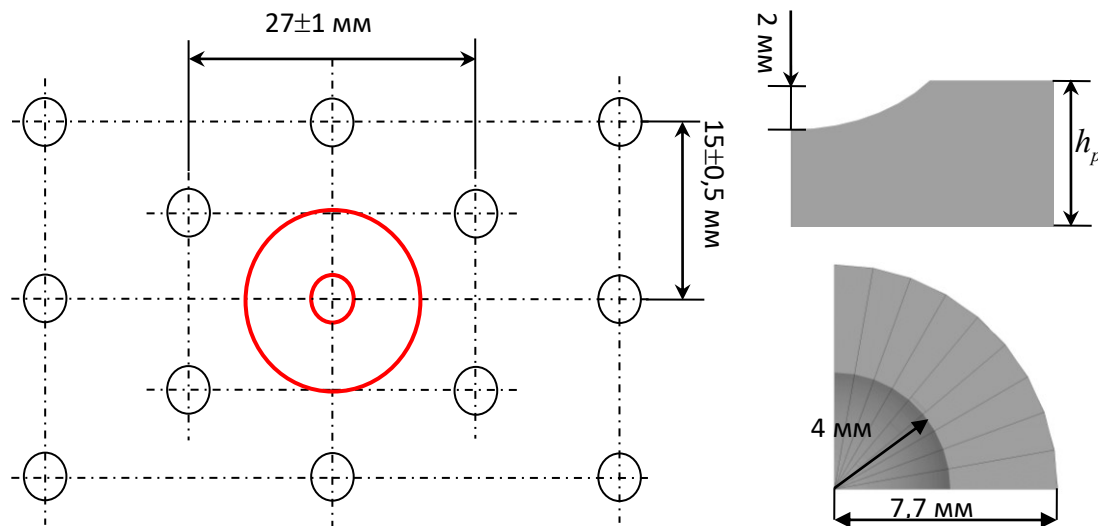


Рисунок 1 – Плоский слой скольжения с лунками для смазки

Ранее было проведено экспериментальное исследование физико-механических и фрикционных свойств материалов. Получены основные физико-механические характеристики материалов, а также зависимости коэффициентов трения от давления в диапазоне от 1,2 до 54 МПа. Подобраны функции аппроксимирующие зависимости трения от давления до 90 МПа [2]. Так для модифицированного фторопласта погрешность между аппроксимирующей функцией и натурным экспериментом составила менее 1%, для МАК менее 2,5% и для СВМПЭ производства Германии составило менее 4% (Рисунок 2).

В работе выполнена серия численных экспериментов о деформировании ячейки периодичности жесткой стальной плитой, при давлении от 5 до 90 МПа. Проведен анализ деформационных характеристик и контактных параметров ячейки периодичности: интенсивность напряжений, интенсивность пластических деформаций, интегральная жесткость, контактное давление и контактное касательное напряжение, статусы контакта и другие. На примере ячейки периодичности толщиной 6 мм, на рисунке 3 показано распределение интенсивности пластических деформаций, при давлении 30 МПа для 3 материалов.

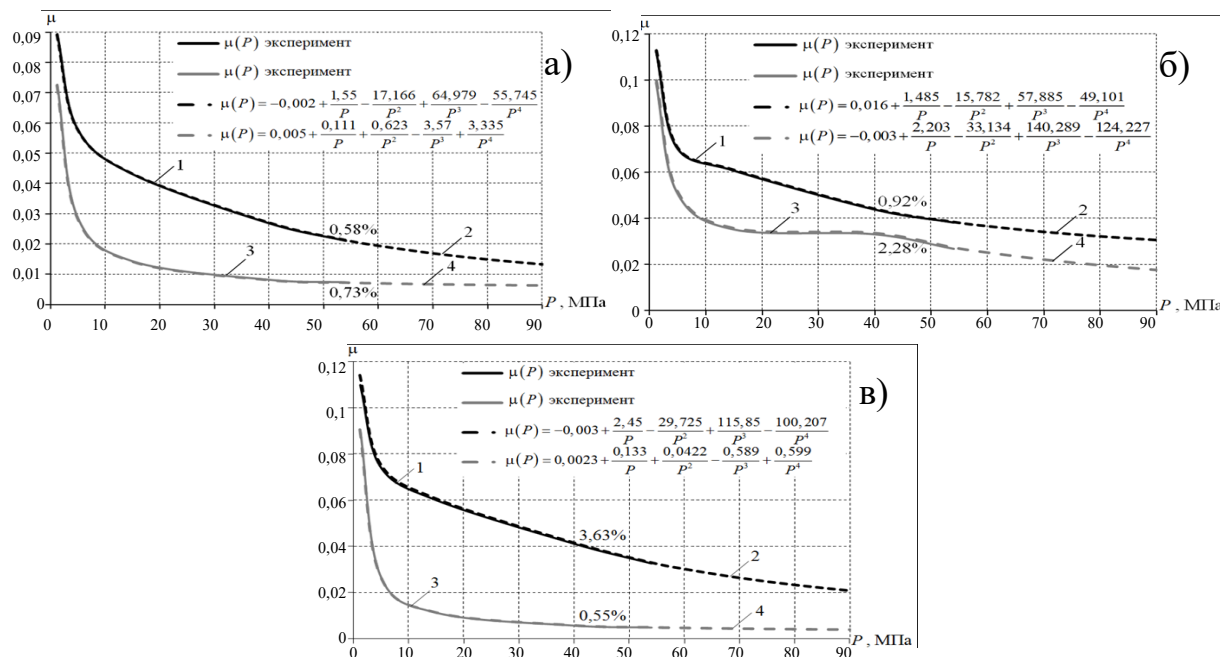


Рисунок 2 – Зависимость коэффициентов трения от уровня давления: а – модифицированный фторопласт; б – МАК; в – СВМПЭ производства Германия

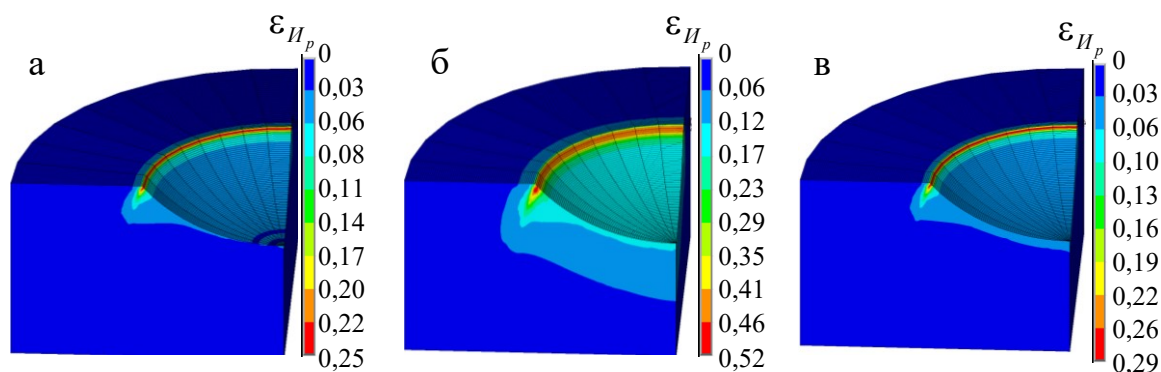


Рисунок 3 – Интенсивность пластических деформаций прослойки толщиной 6 мм:

а – модифицированный фторопласт, б – МАК, в – СВМПЭ производства Германия.

Можно отметить, что у ячейки периодичности из модифицированного фторопласта максимальное значение интенсивности пластических деформаций ниже, чем у остальных рассмотренных материалов. ϵ_{H_p} ячейки периодичности из МАК выше, чем у остальных практически в 2 раза.

Так же, особый интерес представляют параметры зоны контакта: характер распределения состояний контакта, контактное давление и контактное касательное напряжения в зоне сопряжения жесткой стальной плиты с ячейкой периодичности.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (№18-08-00903).

Библиографический список

1. *Адамов А.А., Каменских А.А., Носов Ю.О.* Математическое моделирование поведения современных антифрикционных полимеров // Прикладная математика и вопросы управления. – 2019. – № 4. – С. 43-56.
2. *Adamov A.A., Kamenskikh A.A., Nosov Yu.O.* Deformation behavior numerical analysis of the flat sliding layer of the spherical bearing with the lubrication hole // Integrated Science in Digital Age. 2019. P. 314-325.

ON DEFORMATION OF A PLANE ANTIFRICTION LAYER OF POLYMERIC MATERIAL

Nosov Yuriy O., Kamenskikh Anna A.

Perm national research polytechnic university, 29, Komsomolsky Av, Perm, 614000, Russia, anna_kamenskikh@mail.ru, ura.4132@yandex.ru

Adamov Anatolij A.

Institute of Continuous Media Mechanics of the UB of RAS, 1, Academician Korolev Street, Perm, 614013, Russia, adamov.aa@ya.ru

In relation to the study of the deformation behavior of a thin sliding layer with holes for lubrication, a series of numerical experiments on the deformation of the periodicity cell was carried out. Periodicity cell was made from a set of modern polymers and composites based on them. Firstly, the deformation behavior of periodicity cell under pressure from 5 to 90 MPa is analysed. In addition, the analysis of contact parameters, as well as the stress-strain state of the periodicity cell, is carried out. The influence of the frictional properties of various materials on the deformation behavior of the numerical model is evaluated.

Keywords: periodicity cell, contact pressure, contact, friction, antifrictional material

ДЕФОРМИРОВАНИЕ АНТИФРИКЦИОННОГО СЛОЯ СКОЛЬЖЕНИЯ ОПОРНОЙ ЧАСТИ ИЗ РАЗНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОЗИТОВ

Панькова Анастасия Петровна, Каменских Анна Александровна,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29,
anna_kamenskih@mail.ru

Адамов Анатолий Арсангалеевич

Институт механики сплошных сред УрО РАН, 614013,
Россия, г. Пермь, ул. Академика Королёва, д. 1

Выполнен численный анализ деформационного поведения элементов сферической опорной части в рамках реализации фрикционного контактного взаимодействия верхней плиты со сферическим сегментом и нижней плиты со сферическим вырезом через упругопластическую полимерную прослойку. Рассмотрены три варианта толщины полимерной прослойки: $h_p = 4, 6, 8$ мм. Выполнен анализ влияния толщины антифрикционной прослойки на контактные характеристики поверхностей скольжения и ее деформационное поведение.

Ключевые слова: сферическая опорная часть, контакт, трение, полимерные материалы, композиционные материалы.

Современные разработки в области мостостроения направлены на улучшения работы опорных частей мостов: повышение надежности и долговечности опорных частей по средствам изменения конструкционного оформления ее элементов; увеличение износостойкости сферического полимерного слоя скольжения при использовании современных полимерных антифрикционных материалов и композитов на их основе и т.д.

В рамках работы выполнено численное моделирование деформирования элементов сферической опорной части с антифрикционными прослойками из разных полимеров и композитов. Была рассмотрена сферическая опорная часть Л-100 (Рисунок 1.) производства ООО «АльфаТех» г. Пермь, которая используется в пролетных строениях мостов. В рамках анализа рассмотрено влияние толщины антифрикционной полимерной прослойки h_p , толщина варьируется от 4 до 8 мм, минимальная высота нижней плиты со сферическим

вырезом варьируется в зависимости от толщины прослойки от $h_2 = 20$ мм до $h_2 = 16$ мм соответственно. Максимальная высота нижней плиты уменьшается на приращение толщины антифрикционной прослойки. Максимальная высота верхней плиты и максимальная ширина конструкции не изменяются и равны $h_1 = 30$ мм и $b_k = 2b = 155$ мм соответственно. На S_1 приложено постоянное давление 5 МПа и запрещен изгиб; на S_2 запрещены вертикальные перемещения.

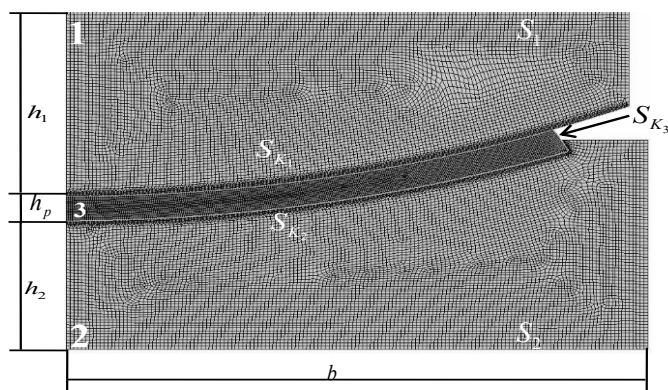


Рисунок 1 – Расчетная схема сферической опорной части

В рамках работы в качестве материалов антифрикционной полимерной прослойки было рассмотрено 6 полимерных материалов и композитов на их основе: сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) наполненный углеродом (мат. 1); СВМПЭ производства России (мат. 2); СВМПЭ производства Германии (мат. 3); антифрикционный композиционный материал на основе фторопласта с дендритными и сферическими бронзовыми включениями, и дисульфидом молибдена (мат. 4 и 5 соответственно); модифицированный фторопласт (мат. 6). Механические характеристики материалов получены экспериментально [1].

На рисунке 2 приведен характер распределения контактного давления и контактного касательного напряжения на поверхностях S_{K1} , по которой происходит поворот сферического сегмента опорной части, для толщины антифрикционной прослойки 4 мм.

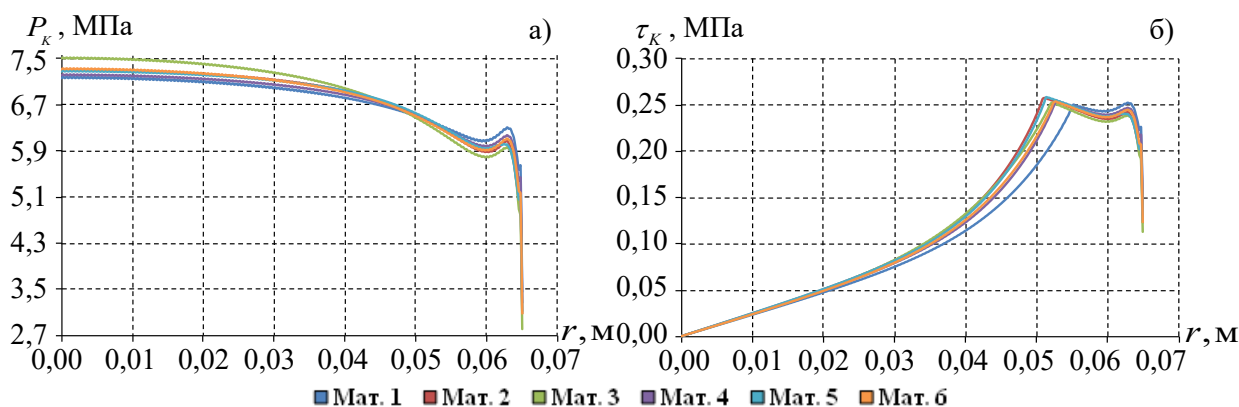


Рисунок 2 – Распределение контактных характеристик на поверхности S_{K_1}

Было выявлено, что мат. 1 имеет наилучшие контактные характеристики, а именно: минимальное контактное давление и распределение контактных параметров происходит наиболее равномерно, чем для других материалов. В целом исследуемые материалы обладают незначительными отличиями по характеру распределения и уровню контактного давления (около 2%), кроме мат. 3, для него отличие около 4%. Выполнена оценка влияния толщины прослойки на уровень и характер распределения контактных параметров.

Особый интерес представляет распределение контактного давления и контактного касательного напряжения на относительно свободную от контакта поверхность S_{K_3} (рисунок 3).

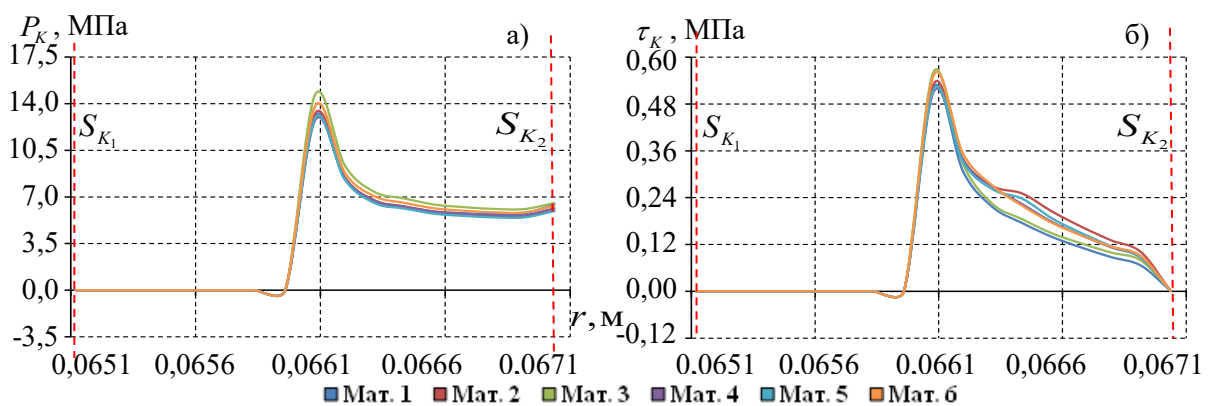


Рисунок 3 – Распределение контактного давления (а) и контактного касательного напряжения (б)

На данной поверхности, мат. 1 так же имеет минимальные контактное давление и контактное касательное напряжение. При толщине прослойки 6 мм наблюдается снижение уровня контактных характеристик приблизительно на 1,2%, при толщине прослойки 8 мм максимальные значения контактных характеристик уменьшаются приблизительно на 34,5%.

Были рассмотрены перемещения относительно свободной от контакта поверхности, они изображены на рисунке 4.

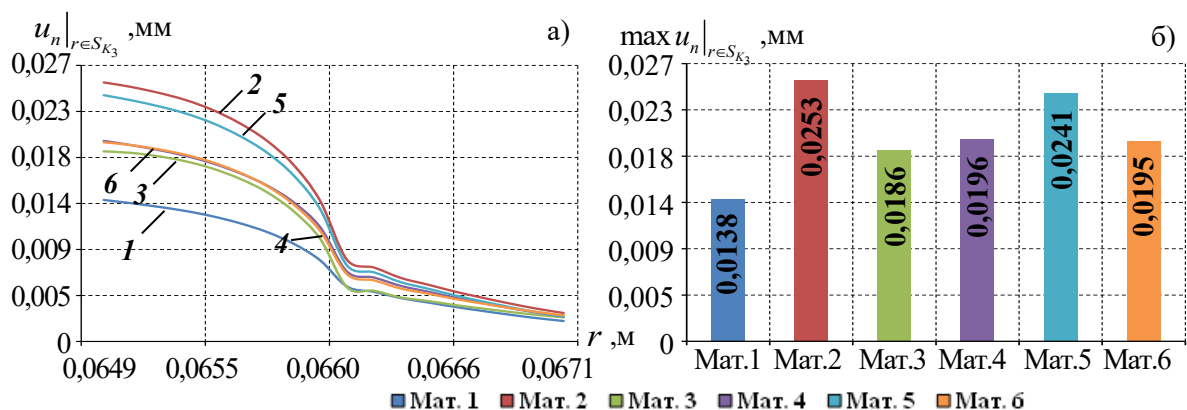


Рисунок 4 – Перемещение на S_{K_3} при толщине $h_p = 4$ мм (а) и $\max u_n|_{r \in S_{K_3}}$ (б)

Проведен анализ влияния толщины полимерной прослойки на изменение максимальных перемещений относительно стандартной толщины 4 мм. И было выявлено, что мат. 1 имеет минимальные значения перемещений, но в то же время, толщина антифрикционной прослойки оказывает на него наибольшее влияние.

В ходе работы проведен анализ распределение интенсивности напряжений и интенсивности пластических деформаций. Выявлено, что в зонах полного контактного прилипания материал работает в рамках теории упругости, а вблизи относительно свободной края прослойки наблюдается концентрация интенсивности напряжений и пластических деформаций.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-79-00147).

Библиографический список

1. Адамов А.А., Камских А.А., Носов Ю.О. Математическое моделирование поведения современных антифрикционных полимеров // Прикладная математика и вопросы управления. 2019. № 4. С. 43-56.

DEFORMATION OF ANTIFRICTION SLIPING LAYER OF THE BEARING FROM DIFFERENT POLYMERIC MATERIALS AND COMPOSITES

Pan'kova Anastasia P., Kamenskikh Anna A.

Perm national research polytechnic university, 614000, Russia, Perm, Komsomolsky
Av. 29, anna_kamenskih@email.ru

Adamov Anatoly A.

Institute of Continuous Media Mechanics of the UB of RAS, 614013, Russia, Perm,
Academician Korolev Street, 1

A numerical deformation behavior analysis of elements of the spherical bearing in the framework of the frictional contact interaction of the upper plate with a spherical segment and the lower plate with a spherical cutout through an elastoplastic polymer layer is performed. Three options for the thickness of the polymer layer $h_p = 4, 6, 8$ mm are considered. An analysis of the effect of the antifriction layer thickness on the contact characteristics of the sliding surfaces and its deformation behavior has been performed.

Keywords: spherical bearing, contact, friction, polymeric materials, composite materials.

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КРОНШТЕЙНА ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПОД АДДИТИВНУЮ ТЕХНОЛОГИЮ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

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 представлен процесс проектирования кронштейна с применением топологической оптимизации. Технология изготовления кронштейна – селективное лазерное сплавление (SLM/DMLS/LBM). В зависимости от механических характеристик титанового сплава было получено три различных варианта исполнения кронштейна. Результатом проектирования кронштейна под аддитивную технологию изготовления стало снижение массы кронштейна на 72% с сохранением необходимого запаса прочности.

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

С внедрением аддитивного производства (АП) в различные высокотехнологические отрасли возникла необходимость в новых подходах к проектированию изделий. Топологическая оптимизация (ТО) является начальным этапом в новом подходе проектирования для аддитивного производства. ТО как метод снижения массы может снизить расход топлива или увеличить грузоподъемность в аэрокосмической отрасли. Для других отраслей, где масса не является важным критерием, ее снижение может уменьшить стоимость изготовления, что особенно актуально для АП, где цена сырья и установок АП высока на данный момент.

ТО – это метод оптимизации, определяющий оптимальное распределение материала в расчетной области при определенных граничных условиях и ограничениях. Проектирование кронштейна проводилось в ПО Solid Edge 2019. В данном ПО используется алгоритм Solid Isotropic Material with Penalization (SIMP). Алгоритм SIMP подробно описан в монографии [1]. Алгоритм основан на методе конечных элементов, где для решения задачи оптимизации вводится специальный параметр условной плотности конечного элемента (КЭ), который определяет модуль упругости следующим образом:

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

(1)

где E_0 – модуль упругости материала, E_{min} – модуль упругости на пустой области, p – штрафной параметр. Постановка задачи оптимизации алгоритма SIMP:

$$\begin{aligned} c(x) &\rightarrow \min, \\ c(x) = \mathbf{U}^T \mathbf{K} \mathbf{U} &= \sum_1^N E_s(x_s) u_s^T k_0 u_s, \\ \begin{cases} V(x)/V_0 = f \\ \mathbf{K} \mathbf{U} = \mathbf{F} \\ 0 \leq x_s \leq 1 \end{cases} \end{aligned} \quad , \quad (2)$$

где c – податливость системы, \mathbf{U} и \mathbf{F} – глобальные векторы перемещений и сил, \mathbf{K} – глобальная матрица жесткости, u_s – вектор перемещений КЭ, k_0 – матрица жесткости КЭ, x_s – условная плотность КЭ, N – количество КЭ, V_0 – начальный объем, V_x – конечный объем, f – заданная доля снижения объема. С практическим применением ТО можно ознакомиться в статьях [2, 3].

Кронштейн проектируется под изготовление по технологии селективного лазерного сплавления (СЛС). Суть технологии заключается в послойном выборочном сплавлении металлического порошка лазером в заранее сформированном слое, более подробно данная технология описана в [4]. В процессе сплавления создается мелкозернистая структура материала, что приводит к высокой прочности, но низкой пластичности. Для увеличения пластичности заготовки, полученной СЛС, необходима термообработка. Как правило, производители порошков приводят механические свойства образцов с термообработкой и без нее. В данной работе рассматривалось два набора механических свойств титанового сплава Ti6Al4V (аналог ВТ6), использовались данные компании SLM Solutions Group AG. На рисунке 1 представлена расчетная схема для топологической оптимизации и расчетов прочности.

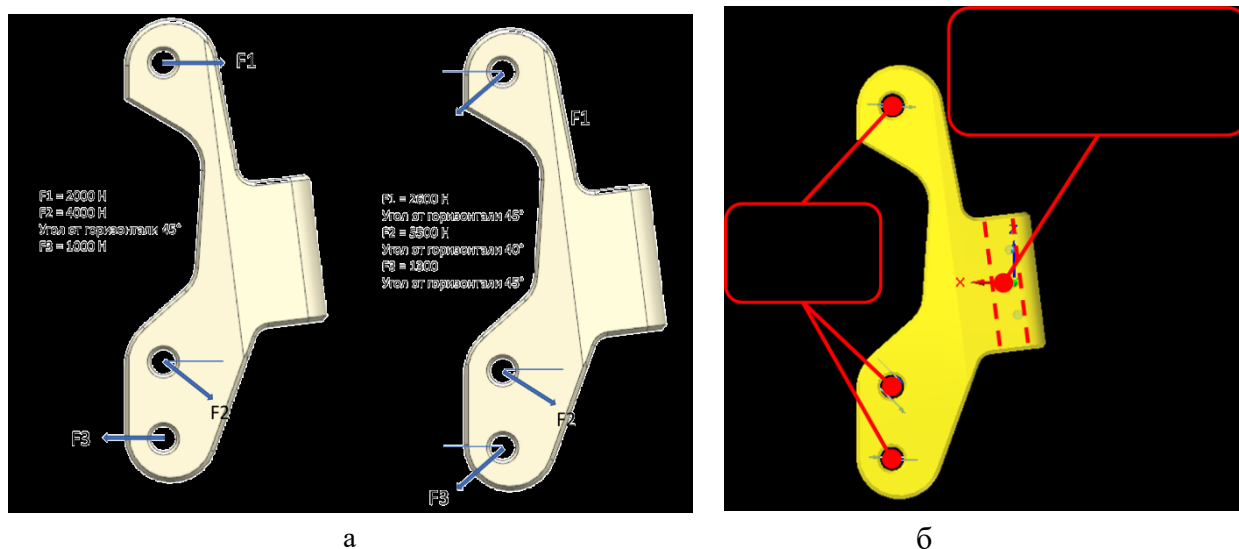


Рисунок 1 – Расчетная схема: а – действующие нагрузки (2 случая); б – граничные условия.

Результаты ТО зависят от многих параметров, в том числе от вида и размеров расчетной области, в нашем случае было создано три различных варианта. Результаты ТО представлены на рисунке 2.

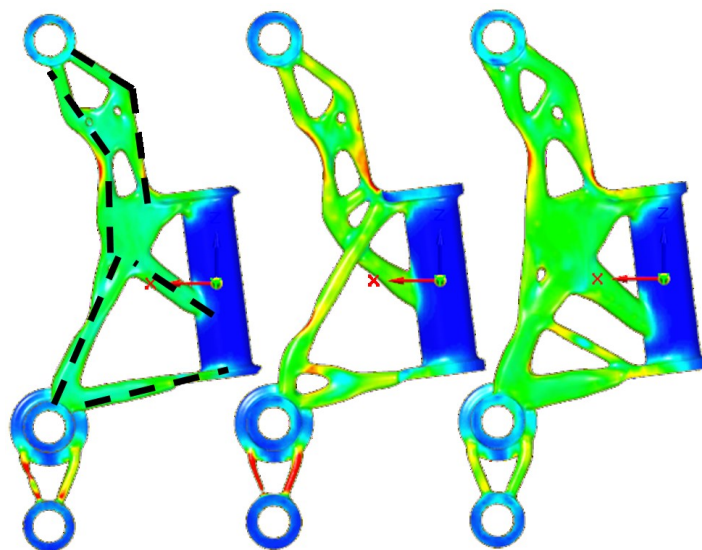


Рисунок 2 – Результаты топологической оптимизации для различных расчетных областей.

Полученные данные при ТО (фасеточная геометрия) далее использовались как основа для твердотельного моделирования в системе автоматизированного проектирования. В зависимости от механических свойств материала было получено несколько вариантов исполнения кронштейна. Результаты расчета прочности кронштейна с лучшими показателями снижения массы (-72%) представлены на рис.3.

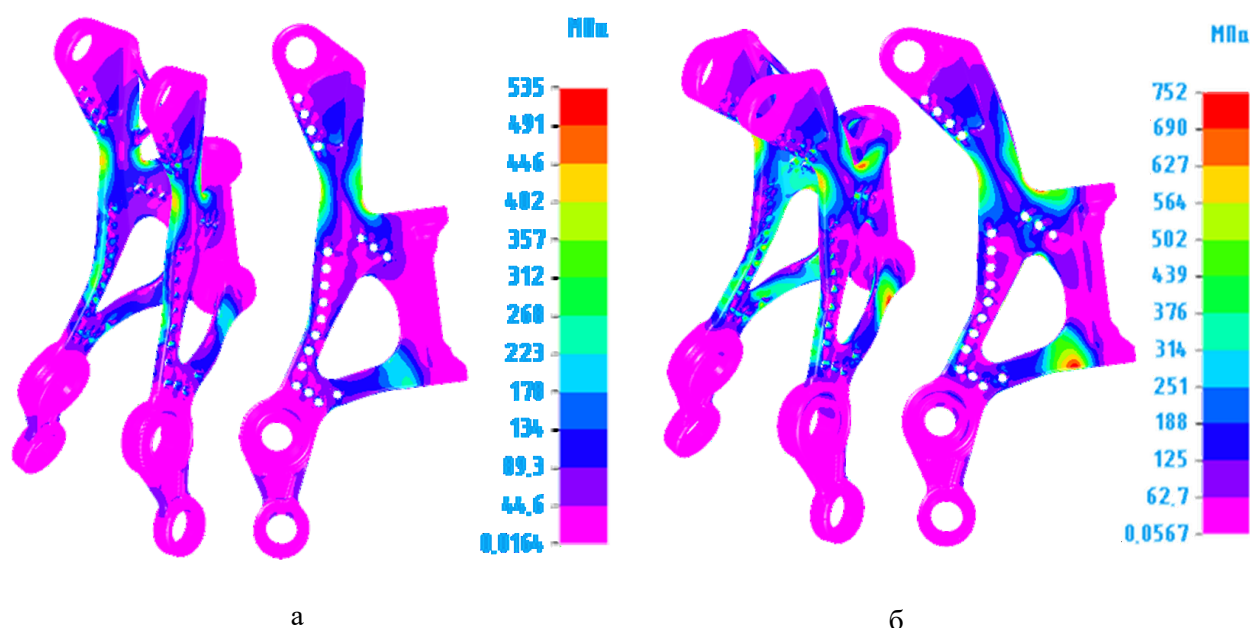


Рисунок 3 – Результаты расчет прочности кронштейна, эквивалентные напряжения по Мизесу: а – случай нагружения №1; б – случай нагружения №2.

Результатом проектирования кронштейна под аддитивную технологию изготовления стало снижение массы кронштейна на 72% с сохранением необходимого запаса прочности. Функционал существующих программных комплексов позволяет решать прикладные задачи, связанные с поиском оптимальной топологии изделия, в зависимости от приложенных нагрузок, а также некоторого ряда технологических ограничений.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ по государственному заданию FSNM-2020-0028.

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. *Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюрова А.И., Терьяков Р.С.* Лазерные аддитивные технологии в машиностроении // МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2018. 280 стр.

TOPOLOGY OPTIMIZATION AND DESIGN OF TITANIUM BRACKET FOR ADDITIVE MANUFACTURING

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 design process of bracket using topology optimization. Bracket manufacturing technology is selective laser melting (SLM / DMLS / LBM). Three different bracket were designed depending on the mechanical characteristics of the titanium alloy. The result of topology optimization of bracket is 72% weight reduction while maintaining the required safety margin.

Keywords: computational mechanics, optimal design, topology optimization, additive manufacturing.

МЕХАНИКА СПЛОШНЫХ СРЕД

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСЕВЫХ НАСОСОВ НА ВОДЕ ВО ВСЕМ ДИАПАЗОНЕ ПОДАЧ

Брюхова Ксения Сергеевна, Пещеренко Сергей Николаевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, k.bryukhova@list.ru

Эффективной технологией транспортировки газожидкостных смесей являются – мультифазные осевые насосы (МФОН). Подобные насосы предоставляют возможность транспортировать всю смесь без предварительного разделения ее фазы, а значит, упрощает обслуживание, обеспечивают плавную перекачку и т.д. Для разработки новых системных решений, повышения надежности, устранения западающей зоны слева в напорно-расходной характеристике и расширения диапазона работы МФОН необходимо проведение большого количества дорогостоящих натурных экспериментов. С помощью систем компьютерного моделирования становится возможным осуществить данную процедуру по средствам проведения численного эксперимента в конечно-объемном пакете ANSYS CFX. В статье приведено краткое описание разработанной методики, позволяющей провести расчеты во всем диапазоне подач насоса и уменьшить время единичного расчета. Приведено сравнение полученных результатов расчета с экспериментом.

Ключевые слова: мультифазный осевой насос, ANSYS CFX, осевая ступень, напорно-расходная характеристика, структурированная сетка, y^+ слой.

Для поверхностной перекачки ГЖС на пункты сбора используют осевые насосы, которые, как правило, эксплуатируются в широком диапазоне подач [1,2].

Однако, напорно-расходная характеристика типичных осевых насосов немонотонна, содержит перегиб. Локальный минимум [3] появляется из-за образования вихрей в проточном канале, препятствующих течению вдоль канала.

Немонотонная зависимость $H(Q)$ существенно ограничивает применение осевых насосов, делает их работу в трубопроводной сети неустойчивой.

Поэтому при разработке новых ступеней необходимо избавиться от немонотонности напорной кривой. Для этого необходимо варьировать геометрические размеры лопастной системы ступеней и либо проводить большое количество дорогостоящих экспериментов, либо, что предпочтительно, ряд численных расчетов.

Обычно такие расчеты проводят в стационарной постановке, используя осредненные по Рейнольдсу уравнения турбулентного течения жидкости.

При больших углах атаки на входе потока на лопасти образуются нестационарные вихри. Однако, если конструкция ступени такова, что образование вихрей минимизировано и напорно-расходная характеристика монотонная, как, например, в осевых ступенях Новомет [4], то представляется возможным провести CFD расчет во всем диапазоне подач. Для проверки этой возможности, нами была разработана методика CFD расчета осевых ступеней.

В разработанной нами методике мы использовали высокорейнольдсовую модель турбулентности $k-\epsilon$, что позволило, сократить количество элементов в расчетной сетке. Принципиальным был правильный выбор ширины первого слоя, чтобы обеспечить достаточный, для выбранной модели турбулентности, y^+ [4].

Провели расчеты осевой ступени МФОН7А – 1600 [5] (мультифазный осевой насос 7А габарита) во всем диапазоне подач, при частоте вращения вала 3000 об/мин, рабочая жидкость – вода.

На первом этапе была создана гексагональная структурированная сетка с помощью ANSYS TurboGrid для направляющего аппарата и тетраэдрическая сетка для рабочего колеса. В результате расчета был получен Y^+ слой для направляющего аппарата и рабочего колеса равный в среднем 300 единиц, что удовлетворяет требованиям моделирования турбулентности модели high-Re в ANSYS CFX [4].

Так же для уменьшения времени расчета был рассчитан только один межлопастной канал ступеней, но с учетом периодичности модели. Численная модель состояла из 9 ступеней, по аналогии со стендовыми испытаниями. В результате, в расчете использовалось примерно 2 600 000 элементов.

Полученная напорно-расходная характеристика и КПД ступени приведена на рисунке 1. Из рисунка видно, что значения, полученные в результате расчета, расходятся только на подаче 1200 м³/сут, при этом на малых подачах значения полностью совпадают с экспериментальными (испытаний на больших подачах не проводили из-за ограничений стендового оборудования).

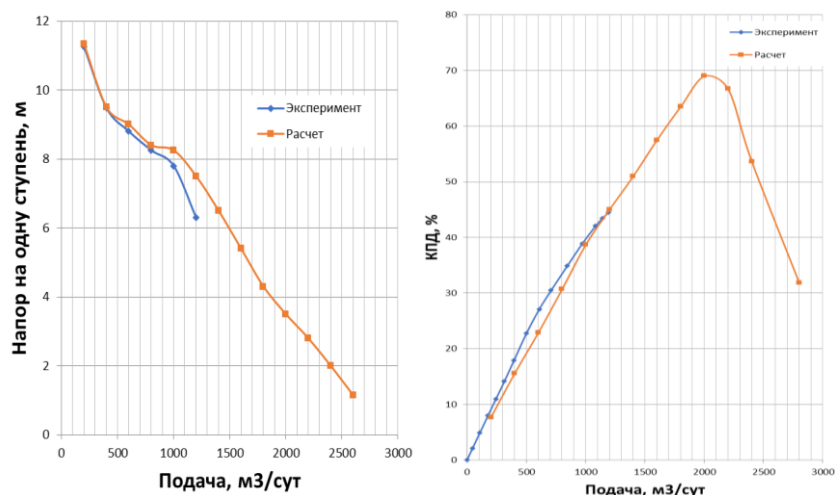


Рисунок 1 – Напорно-расходная характеристика и КПД МФОН 7А

Выбранная ступень имеет низкую завихренность потока, при подачах отличных от оптимальных, это позволило провести расчеты в стационарной RANS постановке во всем диапазоне подач. Для контроля завихренности потока исследовали поля кинетической энергии турбулентности и диссипации турбулентности во всем диапазоне подач см. рисунок 2.

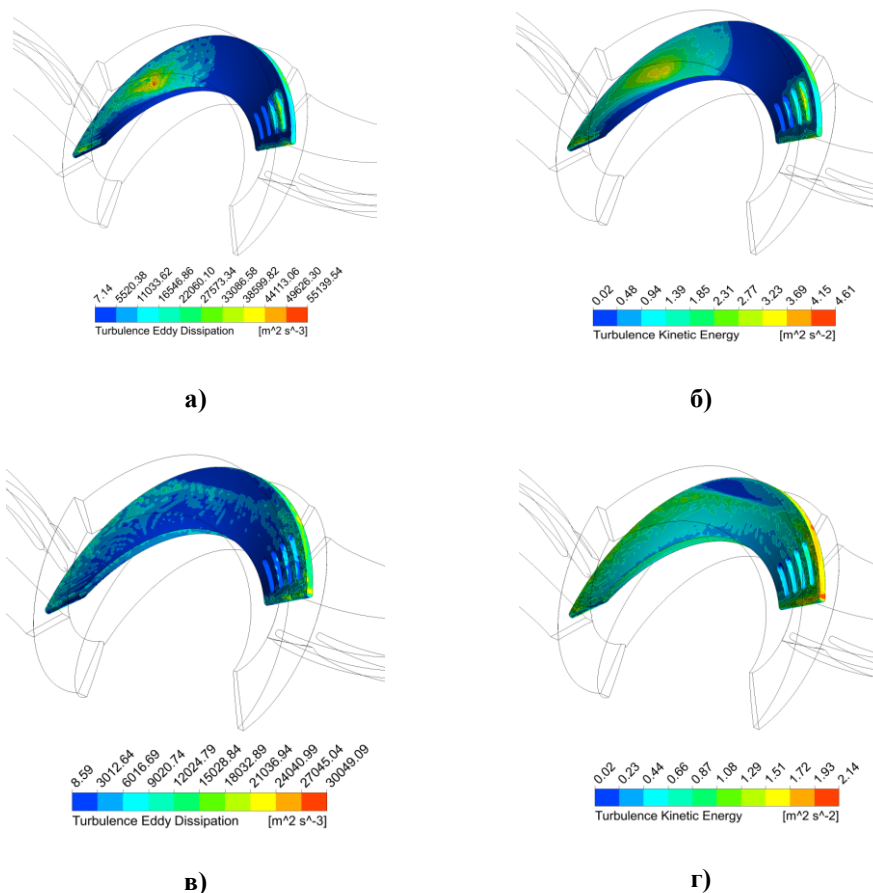


Рисунок 2 – Поля энергии турбулентности: а) – на подаче 200 м³/сут, в) – на подаче 1800 м³/сут, поля энергии диссипации турбулентности: б) – на подаче 200 м³/сут, г)- на подаче 1800 м³/сут в рабочем колесе

Из рисунка 2 видно, что значения параметров турбулентности слабо изменяются в зависимости от подачи.

Выводы

1. Предложена методика расчета течения однофазных жидкостей в осевых насосах для поверхностной перекачки продукции нефтяных скважин.
2. Показано, что если спроектированная ступень имеет монотонную напорно-расходную характеристику, то CFD расчет можно проводить в стационарной постановке с использованием k-ε модели турбулентности.
3. Установлены требования к расчетной модели: число ступеней в сборке, толщина первого пристеночного слоя.
4. Анализ полей турбулентности (k , ϵ) показал, что при изменении подачи параметры турбулентности изменялись слабо, что, по-видимому, и позволило провести расчеты во всем диапазоне подач.

Библиографический список

1. *Гарбарук А.В.* Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений: учебное пособие / А.В. Гарбарук, М.Х. Стрелец, М.Л. Шур – СПб: Изд-во Политехн. унта, 2012. – 88 с.
2. *Роуч П.* Вычислительная гидродинамика: пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 612 с
3. *Пещеренко М.П., Перельман О.М., Рабинович А.И., Каплан А.Л.* Повышение эффективности эксплуатации УЭЦН путем применения мультифазных насосов/ //Бурение и нефть. -2014. -№ 4. -С. 56-60.
4. ANSYS Inc. ANSYS CFX. Reference Guide. Release, Ansys, Inc. Southpointe, Pennsylvania, USA, www.ansys.com, 2011.
5. Каталог продукции АО Новомет-Пермь.

CALCULATION PROCEDURE FOR AXIAL PUMPS ON WATER IN THE FULL RANGE OF FEEDING

Bryukhova Kseniya S., Peshcherenko Sergei N.

Perm National Research Polytechnic University, 29 Komsomolsky Av., Perm,
614000, Russia, k.bryuxova@list.ru

Effective technologies for the transportation of gas-liquid mixtures are multiphase axial pumps. Such pumps provide the ability to transport the entire mixture without preliminary separation of its phase, which means that it simplifies maintenance, ensures smooth pumping, etc. To develop new system solutions, improve reliability, eliminate the sinking zone on the left in the pressure-flow characteristic and expand the range of multiphase axial pumps operation, it is necessary to conduct a large number of expensive field experiments. With the help of computer simulation systems, it becomes possible to carry out this procedure by means of a numerical experiment in the ANSYS CFX finite-volume package. The article provides a brief description of the developed methodology, which makes it possible to reduce the time required for the design of the multiphase axial pumps, as well as a comparison of the calculated results with experiment.

Key words: multiphase axial pump, ANSYS CFX, axial stage, pressure-flow characteristic, structured mesh, y + layer.

ПРИМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ РАСЧЕТЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ВОКРУГ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

Булатова Екатерина Георгиевна, Синер Александр Александрович

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, bulatovakitkat@mail.ru

Численное моделирование течений вязкого газа вблизи аэродинамических профилей очень важно для проектирования авиационного двигателя. Вблизи лопатки (деталь лопаточных машин, предназначенная для изменения в них параметров газа или жидкости) образуется вихревое течение, для промышленных задач требуется считать течения с большими числами Рейнольдса. Решать такую задачу прямым методом без изменения сетки невозможно, так как это приводит к мелкой сетке, а, следовательно, и к длинному расчету, для того чтобы избежать этого используется адаптация сетки. В данной работе был произведен численный расчет нестационарного течения вокруг аэродинамического профиля с использованием динамической адаптации, адаптируется только определенная часть расчетной области во время процесса решения. Определен оптимальный порог адаптации для описания вихревых зон.

Ключевые слова: динамическая адаптация, ANSYS, аэродинамический профиль

Актуальность работы заключается в построении качественной расчётной сетки, т. к. это особенно важно при моделировании задач газовой динамики, решение которых может содержать разрывы (ударные волны, контактные разрывы), а также области с быстрым изменением газодинамических переменных (волны разрежения, пограничные слои). Для качественного разрешения таких зон, а также для оптимизации времени расчёта следует использовать адаптивные расчётные сетки.

Вопрос о динамической адаптации сеток для оптимизации численного решения задач газовой динамики уже рассматривался ранее [1–3]. В статье [1] для решения некоторых задач газовой динамики используются двухуровневые декартовы сетки с динамической локальной адаптацией.

В настоящей работе производится поиск оптимального порога адаптации, который позволит снизить время вычисления и обеспечить качество расчета. В пакете программ ANSYS Fluent [4] имеется возможность производить градиентную адаптацию динамически, т. е. автоматически во время процесса

решения, без дополнительного ввода значений. Именно динамическая адаптация будет применяться в данной задаче.

В газодинамической части рассчитывается двумерное ламинарное течение газа в прямоугольном канале, в котором закреплена исследуемая модель лопатки рисунка.1. Сечением лопатки является аэродинамический профиль NASA 23014 [5]. Ширина канала – 200 миллиметров, длина канала – 500 миллиметров. Наименование границ: АВ – вход (Inlet), CD – выход (Outlet), ВС – верх канала, AD – низ канала, О – поверхность лопатки рисунка 1.

Задача дозвуковая, на входе (Inlet) задается поток воздуха без колебания и давления со скоростью $V=100$ м/с, на выходе (Outlet) – статическое давление 101325 Па. На стенках канала и на поверхности лопатки скорость считается равной нулю.

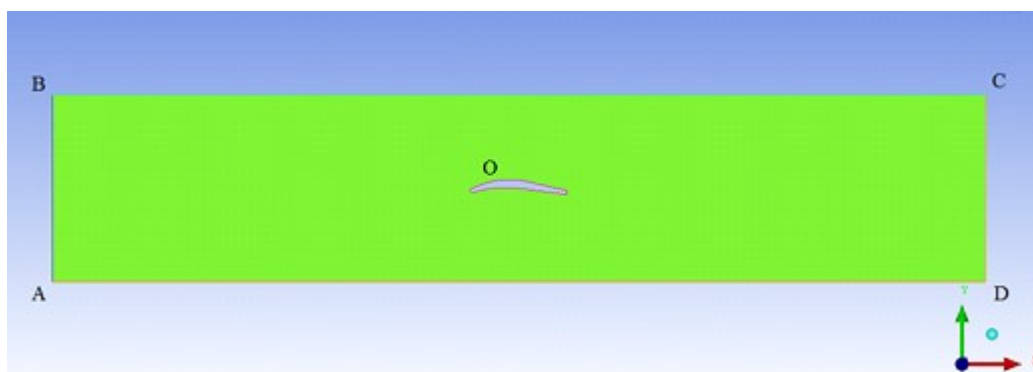


Рисунок 1 – Исследуемая модель с заданными граничными условиями

После построения расчетной модели и задания граничных условий был произведен расчет мгновенного распределения осевой компоненты скорости вблизи профиля рисунка 2 со скоростью 100 м/с.

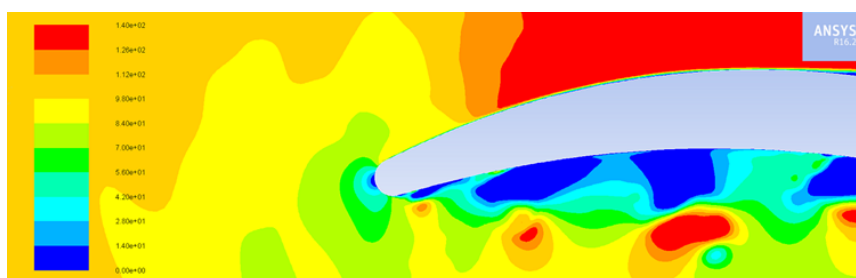


Рисунок 2 – Распределение осевой компоненты скорости вблизи профиля

На рисунках 3, 4 показаны сетки с различными порогами адаптации, для которых были посчитаны время расчета и размерности сеток, представленные в таблице.

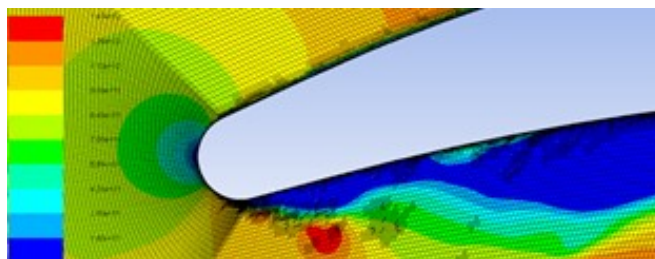


Рисунок 3 – Порог адаптации 0.7

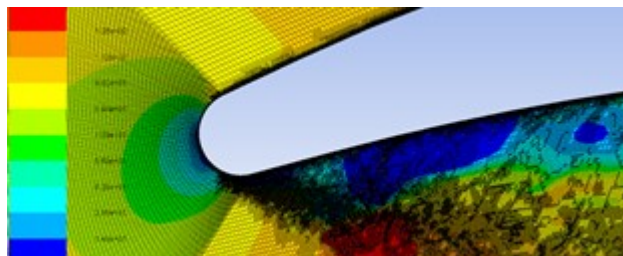


Рисунок 4 – Порог адаптации 0.3

Вихри образуются в пристеночной зоне лопатки и под лопаткой. Эти зоны являются проблемными, поэтому именно в этих местах сетка адаптируется для получения наиболее точных результатов.

Таблица 1 – Изменение сетки в зависимости от порога адаптации

Вид сетки	Время счета 1000 шагов (мин)	Количество ячеек
Без адаптации	393	919588
С порогом адаптации 0.7	501	993202
С порогом адаптации 0.3	624	2010133

В результате работы было проведено три расчета нестационарного течения вокруг аэродинамического профиля без использования адаптации и с порогами адаптации 0.3 и 0.7. В результате анализа проведенных расчетов был определен оптимальный динамический порог – 0.3.

Библиографический список

1. *F. Bramkamp, Ph. Lamby, and S. Mueller.* An adaptive multiscale finite volume solver for unsteady an steady state flow computations. *Comp. Phys.*, 197(2): 2004, p. 460-490.
2. *A. Harten.* Multiresolution algorithms for the numerical solution of hyperbolic conservation laws. *Comm. Pure Appl. Math.*, 48(12): 1995, p. 1305-1342.
3. *A. Harten.* Multiresolution representation of data: A general framework. *SIAM J. Numer. Anal.*, 33(3): 1996, p. 1205-1256.

4. *Батурин О.В.* Расчет течений жидкости и газа с помощью универсального программного комплекса Fluent – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. – 151с., с. 59-74.
5. *Кашафутдинов С.Т., Лушин В.Н.* Атлас аэродинамических характеристик крыловых профилей – 1994 – 78с., с. 19.

USE OF DYNAMIC ADAPTATION FOR NUMERICAL CALCULATION OF NONSTATIONARY FLOW AROUND AN AERODYNAMIC PROFILE

Bulatova Ekaterina G., Siner Alexander A.

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

Numerical simulation of viscous gas flows in the proximity of airfoils is very important for the design of aircraft engine. Near the blade (a part of the blade machines designed to change the parameters of gas or liquid in them), a vortex flow is formed, for industrial tasks, it is necessary to count flows with large Reynolds numbers. It is not possible to solve such a problem using a direct method without changing the grid, since this leads to a small grid, and, consequently, to a long calculation. In order to avoid this, the grid adaptation is used. In this paper, we performed a numerical calculation of the non-stationary flow around the airfoil using dynamic adaptation. Only a certain part of the calculated area is adapted during the solution process. The optimal adaptation threshold for describing vortex zones is determined.

Keywords: dynamic adaptation, ANSYS, aerodynamic profile

ТЕПЛООБМЕННИК ДЛЯ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ ВРАЩЕНИЯ

Гизатуллин Роман Ринатович, Пещеренко Сергей Николаевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29,
Roman.Gizatullin@novometgroup.com

При повышении частоты вращения вала установки электроцентробежного насоса существует риск перегрева погружного электродвигателя. Это обусловлено тем, что выделяемое тепло внутри двигателя увеличивается гораздо быстрее с ростом частоты, чем отводимое тепло. Поэтому температура изоляции всегда растет с частотой. Для того чтобы расширить диапазон рабочих частот и уменьшить вероятность отказа двигателя из-за перегрева, был разработан теплообменник, который позволяет охлаждать нагретое масло. В данной статье предложен теплообменник, представляющий собой корпус со спиралевидными канавками на внутренней поверхности. Методами вычислительной гидродинамики было выполнено численное моделирование охлаждения масла двигателя для данной конструкции.

Ключевые слова: погружной электродвигатель, высокая частота вращения, теплообменник, ANSYS Fluent, температура.

В настоящее время существует тенденция по увеличению частоты вращения при эксплуатации установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) [1-3]. Регулирование насосного оборудования с помощью изменения частоты вращения позволяет экономить энергию и оптимизировать технологические процессы перекачивания жидкостей [4]. При этом увеличение частоты может привести к перегреву обмотки погружного электродвигателя (ПЭД).

Температуру обмотки ПЭД вычисляют в установившемся режиме из условия баланса подводимого тепла (пропорционально мощности двигателя $P_{ПЭД}$) и отводимого ($P_{охл}$ пропорционально скорости охлаждающей жидкости, т.е. подачи насоса Q). В скважинных условиях $P_{ПЭД}$ и Q являются функциями частоты вращения вала (n), причем $P_{ПЭД} \sim n^3$, а $P_{охл} \sim Q \sim n$ [5]. Это означает, что при повышении частоты выделяемое тепло в двигателе растет быстрее, чем отводимое. Таким образом, для каждой установки существует предельная частота вращения.

Для того чтобы расширить допустимый диапазон частот предлагается комплектовать двигатели дополнительным модулем для теплообмена, а также

насосом для прокачки нагретого масла внутрь теплообменника [6]. Причем чтобы увеличить интенсификацию теплоотвода [7, 8], было решено сделать корпус со спиралевидными канавками на внутренней поверхности (Рисунок 1) для увеличения площади контакта и времени нахождения масла в теплообменнике.

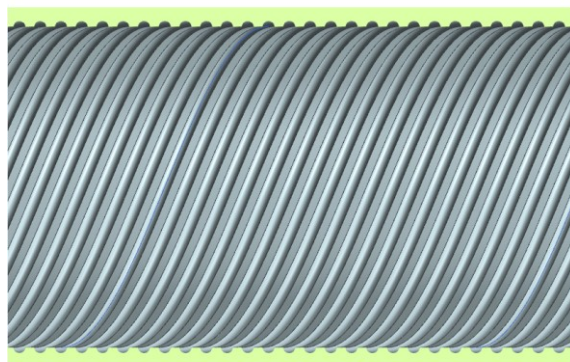


Рисунок 1 – Корпус теплообменника со спиральными каналами

Для данной конструкции был проведен численный расчет в программном комплексе ANSYS Fluent со следующими входными параметрами:

- скважинная жидкость, омывающая теплообменник с внешней стороны, температурой 80 °С и скоростью 0.5 м/с имеет следующие свойства:
 - плотность $\rho=791 \text{ кг/м}^3$;
 - удельная теплоемкость $c_p=1990 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$;
 - удельная теплопроводность $\lambda=0,134 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$;
 - динамическая вязкость $\eta=0,37 \text{ м}^2/\text{с}$;
- трансформаторное масло, выходящее из двигателя, имеет температуру 170 °С и подачу 2.3 м³/сут.

Построены картина распределения температуры масла в спиральном канале теплообменника (Рисунок 2) и график зависимости температуры масла от длины корпуса теплообменника (Рисунок 3).

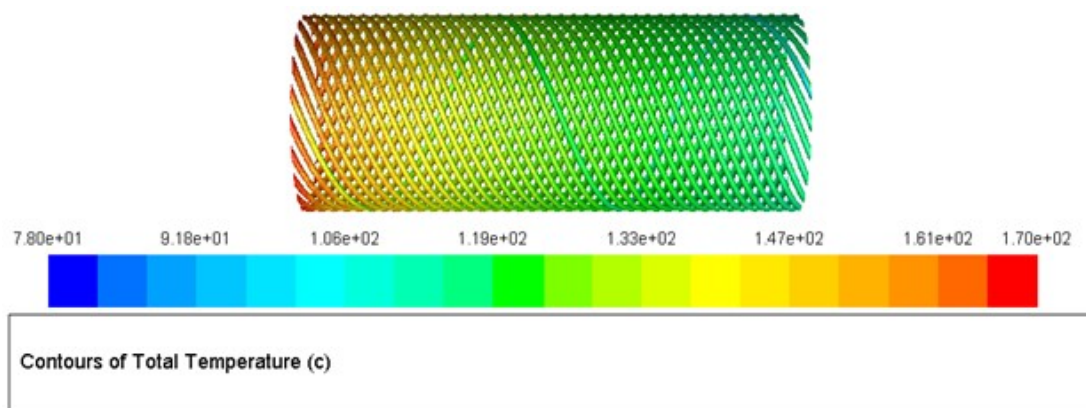


Рисунок 2 – Распределение температуры масла в проточном канале теплообменника со спиральными каналами

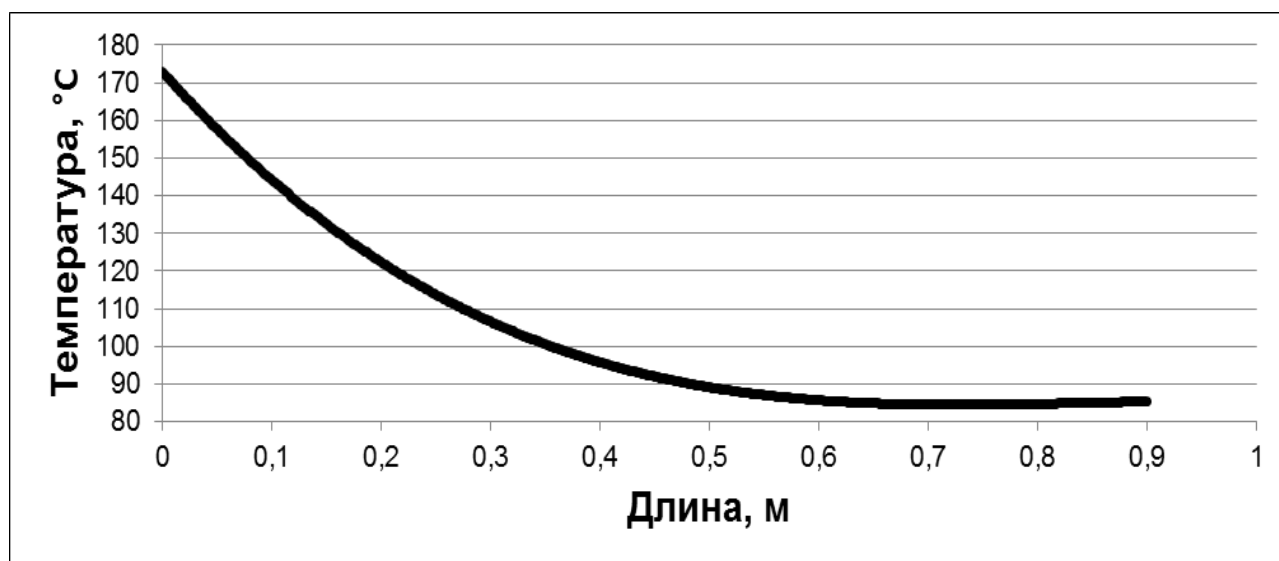


Рисунок 3 – Изменение температуры масла по длине теплообменника

Из рисунков 2 и 3 видно, что температура масла снижается с 170 °С до примерно температуры окружающей среды (84 °С). Причем как видно из графика на рисунке 3 достаточно длины корпуса всего 0,7 м чтобы так охладить масло.

По методике, описанной в статье о моделировании нагрева в ПЭД [9], были проведены расчеты без теплообменника и с теплообменником. Результаты показали в первом случае максимальную температуру двигателя 191 °С, во втором случае – 160 °С. Таким образом видно, что теплообменник существенно уменьшает нагрев погружного электродвигателя.

Библиографический список

1. Гумеров О.А., Гумеров К.О. Опыт применения частотно-регулируемого привода для повышения эффективности эксплуатации установки электроцентробежного насоса на Арланском месторождении // Разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014, т. 12, № 4. С. 24-34.

2. *Донской Ю.А.* Повышение эффективности эксплуатации УЭЦН с частотно-регулируемым приводом при повышенных скоростях вращения ротора установки : диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.13 / Донской Юрий Андреевич; [Место защиты: Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И.М. Губкина].- Москва, 2010.- 148 с.: ил.
3. *Чернышева Т.А. и др.* Частотно-регулируемый электропривод центробежных насосных установок добычи нефти // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019, т. 330, № 12. С. 168-178.
4. *Кожухова А.В., Рамазанов К.Н.* Применение ЧРП для повышения энергоэффективности насосной установки // Международный научный журнал «Символ науки». 2016, № 11. С. 95-96.
5. *Агеев Ш.Р., Григорян Е.Е., Макиенко Г.П.* Российские установки лопастных насосов для добычи нефти и их применение // Энциклопедический справочник. Пермь: ООО «Пресс-Мастер», 2007, 645 с.
6. Установка погружного насоса с магнитной муфтой : пат. 2712847 Рос. Федерация : МПК E21B 43/00 / С.Н. Пещеренко, Р.Р. Гизатуллин, М.П. Пещеренко; заявитель и патентообладатель АО «Новомет-Пермь». – № 2018146655; заявл. 25.12.2018; опубл. 31.01.2020, Бюл. № 4.
7. *Евсеев Е.С., Золотоносов А.Я., Золотоносов Я.Д.* Высокоэффективные теплообменные аппараты на базе теплообменных элементов в виде пружинно-витых труб // Труды Академэнерго. 2008, № 4. С. 18-33.
8. *Попов И.А. и др.* Теплообменные аппараты с интенсификацией теплоотдачи // Энергетика Татарстана. 2014, № 1. С. 10-16.
9. *Гизатуллин Р.Р., Пещеренко М.П., Пещеренко С.Н.* Моделирование теплоотвода от погружного электродвигателя с магнитной муфтой. Тепловые процессы в технике. 2019. Т. 11. № 3. С. 106-114.

HEAT EXCHANGER FOR SUBMERSIBLE MOTOR WITH INCREASING ROTATION SPEED

Gizatullin Roman R., Pescherenko Sergey N.

State National Research Politechnical University of Perm, Komsomolsky Av. 29,
Perm, Russia, 614000, Roman.Gizatullin@novometgroup.com

When the shaft speed of the electric submersible pump is increased, there is a risk of overheating of the submersible motor. This is due to the fact that the heat generated inside the motor increases much faster with increasing frequency than the dissipated heat. Therefore, the insulation temperature always rises with frequency. In order to broaden the operating frequency range and reduce the likelihood of motor failure due to overheating, a heat exchanger has been developed to cool the heated oil. In this article, a heat exchanger is proposed, which is a housing with spiral grooves on the inner surface. Numerical simulation of motor oil cooling for this design was carried out using computational fluid dynamics methods.

Keywords: submersible motor, high rotation frequency, heat exchanger, ANSYS Fluent, temperature.

ВОЗБУЖДЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ КОНВЕКЦИИ В СЛОИСТОЙ СИСТЕМЕ С ПОРИСТОЙ ЗОНОЙ ПРИ РАЗНЫХ УГЛАХ ОРИЕНТАЦИИ ОСИ ВИБРАЦИИ В МИКРОГРАВИТАЦИИ

Колчанова Екатерина Андреевна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, kolchanovaea@gmail.com

Рассматривается линейная задача устойчивости квазиравновесия в слое однокомпонентной жидкости, частично заполненном пористой зоной в условиях микрогравитации и неоднородного нагрева. Слой совершает периодическое высокочастотное движение вдоль оси, ориентированной под произвольным углом к продольной оси x . В состоянии квазиравновесия имеется пульсационное замкнутое течение с нулевой средней скоростью. Определяется пороговое значение вибрационного числа Рэлея-Дарси, при котором это течение теряет устойчивость, и генерируется осредненная конвекция в виде валов различной длины волны, периодических вдоль оси x . Численное решение линейной задачи устойчивости получается на основе метода стрельбы. Уравнения термовибрационной конвекции записываются с помощью метода осреднения. Показано, что с ростом угла ориентации оси вибрации пороговое значение числа Рэлея-Дарси возрастает так, что наибольшее влияние на тепломассоперенос в жидкости имеет место при продольной вибрации. При безразмерной частоте вибрации 0.1 определено критическое отношение толщин слоев, при котором происходит смена характера неустойчивости с длинноволновой на коротковолновую. Его значение слабо увеличивается с уменьшением угла ориентации оси вибрации.

Ключевые слова: конвективная устойчивость, высокочастотные вибрации, слоистая система, пористая зона, вибрации произвольного направления, коротковолновая и длинноволновая неустойчивость, микрогравитация.

Конвективные течения в слое жидкости, частично заполненном пористой зоной, распространены в различных природных и производственных процессах. В природе пористая зона формируется, например, при образовании морского льда, когда имеется перепад температуры и солености. В этих условиях возбуждаются конвекция, которая оказывает влияние на перераспределение соли в морской воде. Аналогичная ситуация возможна при направленной кристаллизации бинарных растворов (расплавов), где нежелательная конвекция влияет на структуру кристаллов. Конвекция может играть и положительную

роль: она приводит к усилению тепломассопереноса в жидкости, что может снизить энергозатраты некоторых производств, связанных с получением и очисткой пористых материалов (например, процесса образования титановой губки из расплава магния). В невесомости усиление тепломассопереноса за счет конвекции особенно актуально, т.к. обычное гравитационное конвективное перемешивание здесь не работает. Конвекцию можно создать с помощью вибрации. Направление оси вибрации, ее частота и амплитуда позволяет управлять процессом возбуждения вибрационной конвекции в невесомости.

Возникновение термовибрационной конвекции в однослойной жидкостной и пористой системах в невесомости подробно изучалось в работах [1, 2]. Показано, что рост угла ориентации оси вибрации приводит к повышению порога устойчивости квазиравновесия жидкости. Наша работа направлена на продолжение этих исследований и обобщает результаты на случай двухслойной системы, содержащей пористую зону.

Отметим, что обычная гравитационная конвекция в слоистой системе с пористой зоной имеет свои особенности. Она возбуждается либо в виде коротковолновых валов в жидком слое над порами, либо в виде крупномасштабных длинноволновых валов во всех слоях [3–5]. Длинноволновые валы усиливают теплоперенос почти 2-3 по сравнению с коротковолновыми валами [6, 7].

Действие вертикальных вибраций на конвективную устойчивость в гравитационном поле изучалось в работах [8–12]. Показано, что вибрации высокой частоты повышают порог устойчивости равновесия жидкости, в значительной мере подавляя коротковолновую конвекцию [8, 9]. При вибрациях конечной частоты в слоях устанавливаются синхронные и субгармонические колебания жидкости [10]. Появляются резонансные области неустойчивости. Изменение проницаемости пористой зоны оказывает больший эффект на длинноволновую неустойчивость равновесия в равнении коротковолновой конвекцией [11,12].

В настоящей работе определяются условия возникновения осредненной термовибрационной конвекции в микрогравитации для системы двух слоев, один из которых заполнен жидкостью, а второй – пористой зоной, насыщенной тоже же жидкостью. На рисунке 1 представлена конфигурация рассматриваемой двухслойной системы. Ось вибрации, вдоль которой система как целое совершает высокочастотные и малоамплитудные колебательные движения, ориентирована под произвольным углом α к продольной оси x . На внешних твердых границах системы поддерживаются постоянные разные значения температуры. Относительная толщина жидкого слоя равна d и может варьироваться. Безразмерная частота вибрации фиксируется:

$\Omega = \omega K/\nu = 0.1$, где ω – частота вибрации, K – проницаемость пористой среды, ν – кинематическая вязкость жидкости. Численные расчеты проводятся для системы «вода – стеклянные шары» с пористостью $m = 0.4$ и числом Дарси (или безразмерной проницаемостью) $Da = 10^{-5}$, что соответствует отношению толщины пористой зоны к среднему диаметру шаров в 10 калибров. Оценка числа Дарси здесь выполнена по формуле Кармана-Козени.

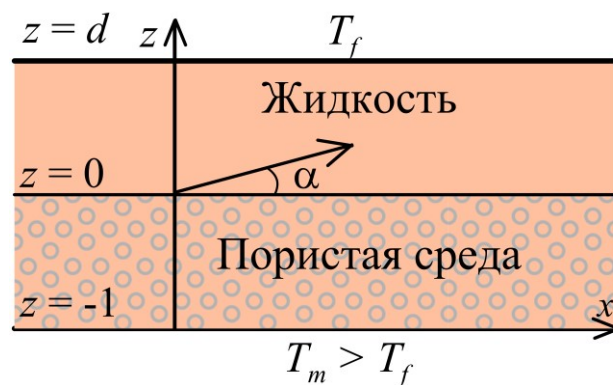


Рисунок 1 – Неоднородно нагретая двухслойная система с пористой зоной под действием высокочастотной вибрации, ось которой ориентирована под углом α к продольной оси x в условиях микрогравитации

В ходе численных расчетов находится пороговое значение вибрационного числа Рэлея-Дарси R_{v*} , при превышении которого в слоях возбуждается конвективное течение с ненулевой средней скоростью в виде валов с критическим волновым числом k_* . Валы с таким волновым числом являются наиболее опасными среди всех прочих валов и соответствуют минимуму нейтральной кривой $R_v(k)$. На рис. 2 изображены зависимости порогового вибрационного числа Рэлея-Дарси (сплошные линии) и критического волнового числа (штриховые линии) от относительной толщины жидкостного слоя d при разных фиксированных значениях угла α ориентации оси вибрации относительно оси x . Видно, что с ростом параметра d происходит смена характера неустойчивости с длинноволновой на коротковолновую. Для этого перехода имеется критическое значение отношения толщин $d_* \approx 0.01$ при данной безразмерной частоте $\Omega = 0.1$. Ожидается, что при больших частотах это значение существенно увеличится. Жидкостный слой играет дестабилизирующую роль, т.е. с повышением его относительной толщины от 0.01 до 0.15 порог возбуждения конвекции понижается. Угол α , наоборот, стабилизирует квазиравновесие жидкости в слоях. Наибольшее влияние угла ориентации оси вибрации на тепломассоперенос в жидкости достигается при продольной вибрации, когда конвективное перемешивание появляется раньше по вибрационному числу Рэлея-Дарси (Рисунок 2).

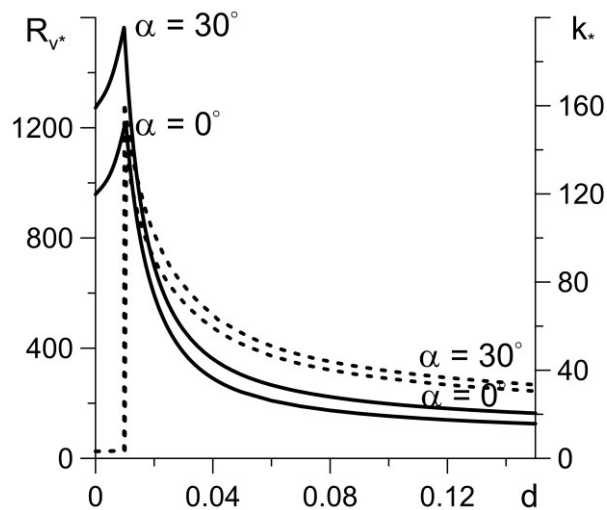


Рисунок 2 – Карты устойчивости равновесия при безразмерной частоте вибрации $\Omega = 0.1$ и разных углах ориентации оси вибрации относительно оси x . Сплошными линиями показаны зависимости порогового вибрационного числа Рэлея-Дарси от относительной толщины жидкостного слоя, а штриховыми – зависимости критического волнового числа от относительной толщины жидкостного слоя

Библиографический список

1. Gershuni G.Z., Lyubimov D.V. Thermal Vibrational Convection. Wiley: N.Y. et al., 1998. 358 p.
2. Зеньковская С.М., Роговенко Т.Н. Фильтрационная конвекция в высокочастотном вибрационном поле // Прикладная механика и техническая физика. 1999. №3. С. 22-29.
3. Любимов Д.В., Муратов И.Д. О конвективной неустойчивости в слоистой системе // Гидродинамика. 1977. Т. 10. С. 38-46.
4. 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.
5. 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.
6. Chen F., Chen C.F. Convection in superposed fluid and porous layers // Journal of Fluid Mechanics. 1992. V. 234. P. 97-119.
7. 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.
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.

EXCITATION OF THERMAL CONVECTION IN A LAYERED SYSTEM WITH POROUS ZONE AT DIFFERENT ANGLES OF VIBRATION AXIS IN MICROGRAVITY

Kolchanova Ekaterina A.

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

We consider a linear stability problem for the quasi-equilibrium state in a single-component fluid layer partially filled with a porous zone under the conditions of microgravity and inhomogeneous heating. The layer performs high-frequency periodic movement along the axis oriented at an arbitrary angle to the longitudinal x -axis. There is an oscillatory closed-looped flow with zero average velocity in the quasi-equilibrium state. We determine the threshold value of the vibrational Rayleigh-Darcy number, at which the flow loses its stability and average convection arises in the form of the rolls with different wavelengths. The rolls are periodic along the x -axis. A numerical solution to the linear stability problem is obtained by the shooting method. The equations of thermovibrational convection are written using the averaging method. It has been shown that the threshold Rayleigh-Darcy number grows with increasing the angle of the vibration axis to the x -axis, so that the greatest effect on the heat and mass transfer rate takes place in fluid under the longitudinal vibration. We have found the critical depth ratio, at which the short-wave instability replaces the long-wave one at the dimensionless frequency of vibration equal to 0.1. The depth ratio increases weekly with decreasing the angle of the vibration axis.

Keywords: convective stability, high-frequency vibration, layered system, porous zone, vibration axis with an arbitrary angle, short-wave and long-wave instabilities, microgravity.

МЕТОДИКА БЫСТРОГО РАСЧЕТА НЕФТЯНЫХ СТУПЕНЕЙ НА ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ ВО ВСЕМ ДИАПАЗОНЕ ПОДАЧ

Павлов Данил Андреевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29,
pavlov_danil_94@mail.ru

Пещеренко Сергей Николаевич

АО «Новомет-Пермь», 614065, Россия, г. Пермь, ш. Космонавтов, 395.

Ежегодно увеличивается добыча высоковязкой нефти с использованием технологий высокотемпературного воздействия на пласт (закачка пара, внутривластовое горение и т.д.). Добыча, преимущественно, ведется малодебитными объемными насосами. Однако, рациональнее было бы использовать динамические или лопастные насосы, для чего их конструкцию необходимо оптимизировать. В первую очередь требуется разработать методику гидродинамических расчетов насосов на вязкой жидкости во всем диапазоне подач. Проведенные нами вычисления показали, что использование стандартных моделей турбулентностей, таких как k- ϵ , k-w, SST приводит к сильному расхождению результатов расчета и эксперимента. Показано, что для корректной оценки работы электроцентробежного насоса требуется модель способная моделировать процесс ламинарно-турбулентного перехода. Решение проблемы нашли в использовании модели турбулентности Лэнгри-Ментера. Показано, что при рациональном выборе параметров сетки и решателя, время одного расчета может быть уменьшено до 5 мин.

Ключевые слова: вязкая нефть, центробежный насос, ньютоновская жидкость, рабочая ступень ЭЦН.

Одной из главных проблем современной нефтедобывающей промышленности, является проблема извлечения запасов тяжелой (высоковязкой) нефти, доля которой с каждым годом увеличивается. Существующие методы добычи подразумевают либо высокотемпературное воздействие на пласт (закачка пара, внутривластовое горение и т.д.), либо использование объемных насосов, которые, как правило, имеют малые подачи [1,2]. Существенно большую подачу имеют лопастные насосы. Для перекачки вязких жидкостей обычно используют осевые ступени, которые не годятся для добычи нефти, так как имеют малый напор (а насос имеет большую длину).

Центробежные насосы имеют высокий напор, однако существующие конструкции хорошо работают только на маловязкой нефти (до 25 сП), и для перекачки высоковязкой жидкости не годятся. Предлагается использовать диагональные насосы, имеющие промежуточную конструкцию между осевыми и центробежными ступенями. Однако, необходимо оптимизировать конструкцию существующих ступеней таких насосов для эффективной добычи высоковязких нефтей. Для этого нужна верифицированная методика, которая позволит методами вычислительной гидродинамики получить их рабочие характеристики.

Обычно численный расчет течения вязкой жидкости в проточных каналах ступеней насосов проводится с использованием стандартных RANS моделей турбулентности, таких как k- ϵ , k- w , SST, которые дают корректные результаты только вблизи оптимальных подач (минимальная завихренность течения, максимальный КПД ступени) и в диапазоне вязкостей до 200 сП, см. [3-6]. Авторы статей сравнивали результаты численного расчета и эксперимента погружных насосов. Расчеты проводили с использованием стандартной k- w SST модели турбулентности.

Причиной расхождения расчетов может быть ламинарно-турбулентный переход при увеличении вязкости (при расчете вблизи оптимальной подачи) и завихренность течения при остальных подачах из-за обтекания лопастей при больших углах атаки (что приводит к нестационарности течения).

Поэтому в первую очередь необходимо использовать модель турбулентности, которая способна учитывать ламинарно-турбулентный переход. Например, Transition SST (модель Langry-Menter) [7]. Она основана на k- ω SST модели турбулентности, в которую введены два дополнительных уравнения переноса, одно для перемежаемости турбулентности γ , а второе для критерия начала ламинарно-турбулентного перехода $Re\theta$.

В [5], с использованием этой модели, был проведен расчет насоса, состоящего из трех диагональных ступеней. Вязкость варьировали от 1 до 833 сСт. Результаты расчетов согласуются с экспериментом во всем диапазоне подач.

Наше исследование направлено на проверку правильности выбора Transition SST модели турбулентности для расчета нефтяных ступеней ЭЦН7А-1000 (см. рисунок 1) и ЭЦН7А-1600 (см. рисунок 2) во всем диапазоне подач. Вязкость варьировали от 1 до 375 сП.

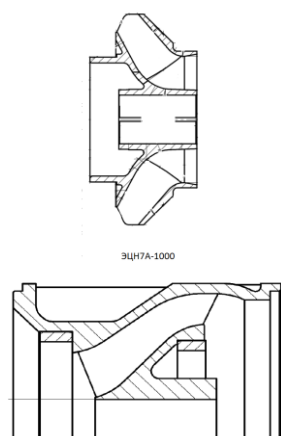


Рисунок 1 – ЭЦН7А-1000

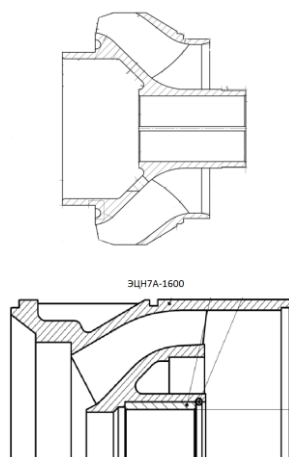


Рисунок 2 – ЭЦН7А-1600

Экспериментальным путем были получены зависимости напорно-расходной характеристики при частоте 2910 об/мин (см. рисунки 3 и 4), которые использовались для верификации численного расчета.

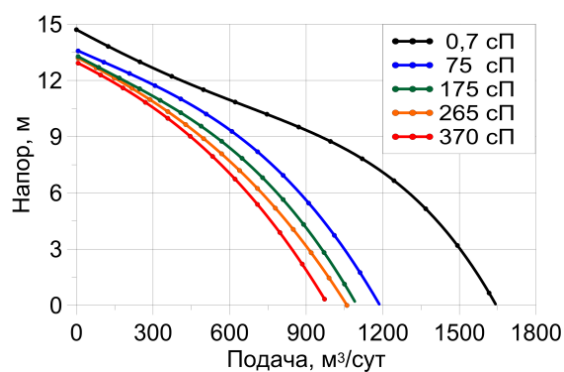


Рисунок 3 – Результат 1

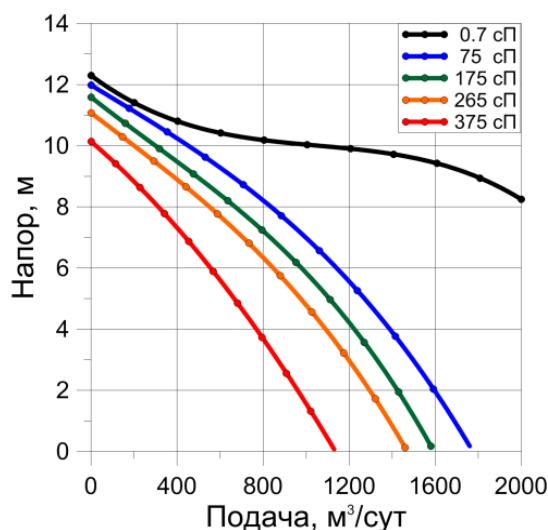


Рисунок 4 – Результат 2

Выбор данных ступеней обусловлен тем, что ступень ЭЦН7А-1600, на вязкой жидкости имеет меньший КПД, чем ступень ЭЦН7А-1000, однако на воде наблюдается обратная картина, на воде КПД выше у 7А-1600 [3].

В нашем расчете была использована многогранная (polyhedra) сетка с $y^+ < 1$, что необходимо для корректного применения данной модели турбулентности. Жидкость считали несжимаемой, расчет проводили во вращающейся системе координат.

В качестве граничных условий на входе задавался нулевое давление (Па), на выходе массовый расход (кг/с) и вращение домена рабочего колеса со скоростью 305 рад/сек (2916 об/мин).

Полученные результаты численного гидродинамического расчета позволили подтвердить правильность выбора авторами [6] Transition SST модели для расчета ступеней погружного насоса на вязкой жидкости. Методика расчета была оптимизирована путем подбора параметров сетки и шага решения по времени, что необходимо для следующего этапа работ – оптимизации ступеней. Время расчета не превышает 5 мин.

Библиографический список

1. Черепашников А.В., Соколов В.Б., Широких В.Л. Опыт исследования скважин, оборудованных ЭЦН // Нефтяное хозяйство, № 10, 1981. С. 51-54.
2. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти: Учебное пособие для вузов. – М: М71 ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. – 816 с.
3. Павлов Д.А., Пещеренко С.Н. Методика расчета характеристик нефтедобывающего погружного насоса на вязкой жидкости// МАТЕМАТИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ – 2019, С. 290-293.

4. *Жарковский А.А., Поспелов А.Ю.* Моделирование вязкого течения в центробежных рабочих колесах // Компрессорная техника и пневматика, 2011, №5, с 18-24.
5. *Jianjun Zhu, Hattan Banjar, Zhenyan Xia, Hong-Quan Zhang.* CFD simulation and experimental study of oil viscosity effect on multi- stage electrical submersible pump (ESP) performance // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2016. №146. 735-745.
6. *Edgar Minoru Ofuchi, Henrique Stel.* Numerical investigation of the effect of viscosity in a multistage electric submersible pump // ENGINEERING APPLICATIONS OF COMPUTATIONAL FLUID MECHANICS. 2017. VOL. 11, NO. 1, 258–272. DOI: 10.1080/19942060.2017.1279079
7. *Langtry R.B. and Menter F.R.* Correlation-Based Transition Modeling for Unstructured Parallelized Computational Fluid Dynamics Codes // AIAA Journal, 2009, vol. 47, no. 12, pp. 2894 – 2906.

TECHNIQUE FOR RAPID CALCULATION OF OIL STEPS ON A VISCOUS LIQUID IN THE WHOLE RANGE OF FEEDING

Pavlov Danil A.

State National Research Politechnical University of Perm, Komsomolsky Av. 29,
Perm, Russia, 614000, pavlov_danil_94@mail.ru

Pescherenko Sergey N.

AO Novomet-Perm, 614065, Russia, Perm, sh. Cosmonauts, 395.

High-viscosity oil production is increasing annually using high-temperature impact technologies (steam injection, intra-reservoir combustion, etc.). Production is mainly carried out by low-capacity volumetric pumps. However, it would be more rational to use dynamic or vane pumps, for which their design needs to be optimized. First of all, it is necessary to develop a method for hydrodynamic calculations of pumps on a viscous fluid over the entire operating range. Our calculations showed that using of standard turbulence models, such as k-e, k-w, and SST, leads to a strong discrepancy between the results of the calculation and the experiment. It is shown that a model capable of simulating the process of laminar-turbulent transition is required for correct evaluation of the operation of an electric centrifugal pump. The solution to the problem was found in the use of the Langry-Menter turbulence model. It is shown that with a rational choice of grid and solver parameters, the time of one calculation can be reduced to 5 minutes.

Keywords: viscous oil, centrifugal pump, Newtonian liquid, ESP stage, newtonian fluid.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ В ВИДЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Алексеев Александр Олегович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29,
alekseev@cems.pstu.ru

Показано, что матричные механизмы комплексного оценивания могут быть представлены в виде искусственной нейронной сети. Это обстоятельство открывает широкие возможности для синтеза методов идентификации матричных механизмов комплексного оценивания и нейросетевых технологий анализа данных. Рассмотрен пример построения нейронной сети для объекта, оцениваемого по трем критериям, каждый из которых описывается трехбалльной пересчетной шкалой.

Ключевые слова: механизмы управления, механизмы контроля, комплексное оценивание, многокритериальный анализ, искусственные нейронные сети.

Матричные механизмы комплексного оценивания (ММКО) [1], традиционно используемые в социально-экономических и организационно-технических системах для осуществления функций контроля и многокритериального анализа, могут быть представлены в виде искусственных нейронных сетей (ИНС) [2, 3].

В общем случае ММКО задается набором $(G, M, \{X_i\}, P)$, где G – граф, описывающий последовательность свертки частных критериев, M – множество матриц свертки, описывающих правила агрегирования критериев, X_i – множества значений частных критериев (при решении прикладных задач, как правило, используется единое множество для всех критериев), P – процедура агрегирования. В работе [4] доказано, что 2-дерево является оптимальной структурой графа G с точки зрения процедуры идентификации параметров механизма комплексного оценивания. Для любого дерева критериев, являющегося 2-деревом, количество узлов, в которых расположены матриц свертки, всегда на единицу меньше количества критериев, т.е. $|M|=n-1$.

В настоящее время исследователями уже получены решения, позволяющие идентифицировать ММКО на основе обучающего множества, в частности, путем представлении ММКО в виде суперпозиции произведений унитарных векторов

и матриц [5, 6], или путем уменьшения размерности обучающего множества за счет преобразования таблиц истинности [7, 8].

Покажем, что ММКО может быть представлен в виде ИНС. Рассмотрим пример объекта, имеющего три критерия ($n = 3$), критерии описываются с помощью трехбалльных пересчетных шкал ($k=3$). Тогда ММКО содержит две матрицы свертки. Элементы матрицы соответствуют декартову произведению дискретных значений шкал критериев. Пусть значения элементов матрицы свертки следующие (Рисунок 1).

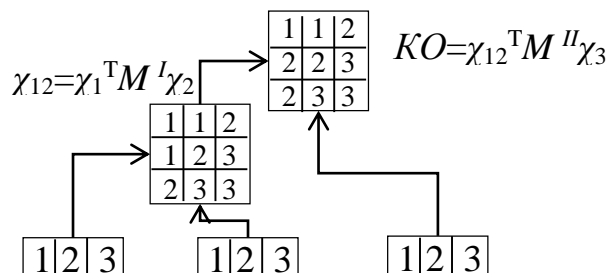


Рисунок 1 – Пример матричного механизма комплексного оценивания

Для приведенной структуры дерева (см. рисунок 1) ММКО с помощью унитарного кодирования будет записан так:

$$KO = (\chi_1^T M^I \chi_2)^T M^{II} \chi_3,$$

где M^I – матрица свертки критериев x_1 и x_2 , M^{II} – матрица свертки критерия x_{12} , полученного в результате агрегирования x_1 и x_2 , и критерия x_3 ; χ_1 , χ_2 и χ_3 – унитарные вектора критериев x_1 , x_2 и x_3 соответственно (для $x_i=1$ $\chi_i=\{1,0,0\}$, $x_i=2$ $\chi_i=\{0,1,0\}$, $x_i=3$ $\chi_i=\{0,0,3\}$), каждый элемент матриц свертки M^I , M^{II} и результат комплексного оценивания представляются также в виде унитарных векторов.

Нейронная сеть строится следующим образом. Частные терминальные критерии выступают в качестве входных сигналов нейронной сети. Благодаря унитарному кодированию переменных, где значения вектора принимают либо нуль, либо единица, каждый критерий, участвующий в свертке на первом уровне дерева критериев, можно представить в виде k нейронов на первом скрытом слое. Следующий скрытый слой, будет содержать $k \times k$ нейронов, каждый из которых соответствует элементу матрицы свертки. Сочетания значений критериев, обеспечивающие одинаковые значения элемента матрицы, следует связать с нейронами, соответствующими одинаковым значениям элементов матрицы, на следующем слое. Описанным выше способом можно представить любую матрицу свертки в виде ИНС, являющейся подсетью общей ИНС. Далее следует поступить аналогично для следующей матрицы. Для рассмотренного примера (см. рисунок 1) нейронная сеть будет иметь вид (Рисунок 2).

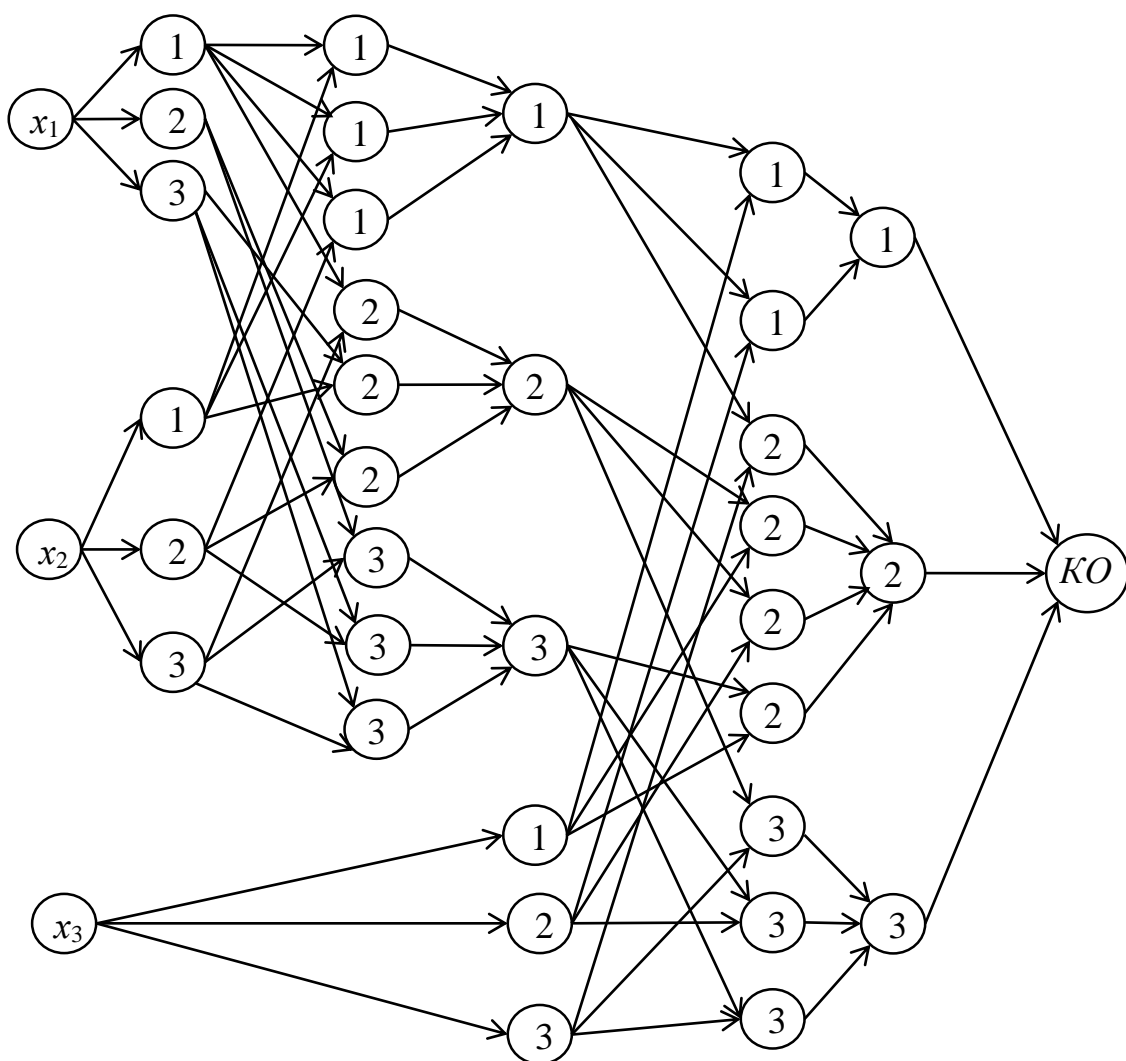


Рисунок 2 – Нейронная сеть, соответствующая ММКО

Преимущество матричных механизмов комплексного оценивания заключается в том, что для них разработаны эффективные методы решения обратной задачи – поиска набора значений частных критериев, в совокупности обеспечивающих заданное значение комплексного (интегрального) показателя [9, 10]. Однако существующие решения идентификации ММКО на основе обучающих множеств [5–8] начали разрабатываться только в 2019, в то время как методы идентификации параметров нейронной сети по обучающему множеству известны довольно давно [2] и многократно доказали свою эффективность при решении различных прикладных задач [3]. Это определяет актуальность синтеза методов идентификации ММКО и нейросетевых технологий анализа данных.

Библиографический список

1. *Алексеев А.О.* Математические и инструментальные методы комплексного оценивания сложных объектов в условиях неопределенности: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. – 100 с.
2. *Горбань А.Н.* Обучение нейронных сетей. – М.: СССР–США СП «Параграф», 1990. – 160 с.
3. *Ясницкий Л.Н.* Введение в искусственный интеллект. – М.: Издат. центр «Академия», 2005. – 176 с.
4. *Губко М.В.* Модели и методы оптимизации структуры иерархических систем обработки информации: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 05.13.01 / Губко Михаил Владимирович; [Место защиты: Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова РАН]. – Москва, 2014. – 372 с.
5. *Бурков В.Н., Коргин Н.А., Марин О.Л.* Проблемы синтеза механизма комплексного оценивания на основе обучающего набора данных // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления (ВСПУ–2019): сб. тр. (Москва, 17–20 июня 2019 г.) / Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – М.: ИПУ РАН, 2019. – С. 2280–2284.
6. *Бурков В.Н., Сергеев В.А., Коргин Н.А.* Идентификация механизмов комплексного оценивания на основе унитарного кода // Управление большими системами. – 2020. – Вып. 87. – С.67–85.
7. *Алексеев А.О.* Об одном подходе к идентификации механизма комплексного оценивания на основе обучающего множества : [доклад]. – Изображение (движущееся). Устная речь : электронный. – URL: <https://youtu.be/MJK1a9dycfA> (дата обращения: 29.06.2020). – Дата публикации: 22.06.2020. – Режим доступа: Лаборатория 57 ИПУ РАН // YouTube, свободный.
8. *Алексеев А.О.* Об одном подходе к идентификации механизма комплексного оценивания на основе обучающего множества // Информационные системы и технологии: достижения и перспективы: материалы II международной конференции / Министерство образования Азербайджанской республики; Сугмаитский государственный университет, 09–10 июля 2020 г., г. Сугмаит, Азербайджанская республика. – Сугмаит: Сугмаитский государственный университет, 2020. – С. 117–120.
9. *Бурков В.Н., Буркова И.В., Попок М.В.* Метод дихотомического программирования // Управление большими системами. – 2004. – Вып. 9. – С. 57–75.

10. *Алексеев А.О.* Управление сложными объектами, состояние которых описывается с помощью матричных механизмов комплексного оценивания // Прикладная математика и вопросы управления. – 2020. – №1. – С. 109–128.

THE RATING AND CONTROLLING MECHANISMS REPRESENTATION IN THE FORM OF AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm,
Russia, 614000, alekseev@cems.pstu.ru

It is shown that matrix rating and controlling mechanisms can be represented in the form of an artificial neural network. This circumstance opens up wide opportunities for the synthesis of identification methods for matrix rating and controlling mechanisms and neural network technologies for data analysis. It is considered an example of constructing a neural network for an object evaluated by three criteria each one is described by a three-point scale.

Keywords: control mechanisms, rating and controlling mechanisms, aggregation, multi-criteria analysis, artificial neural networks.

О МОДЕЛИ И МЕТОДЕ КОНСТРУИРОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ В ДИАГНОСТИКЕ ВЕНОЗНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПО ДАННЫМ МИКРОВОЛНОВОЙ РАДИОТЕРМОМЕТРИИ

Левшинский Владислав Викторович

Волгоградский государственный университет, 400062, Россия, г. Волгоград,
просп. Университетский, 100, v.levshinskii@volsu.ru

В работе исследуется набор термометрических данных нижних конечностей. Представлены модель диагностического состояния пациента и метод построения эффективного признакового пространства, основанные на гипотезах о поведении температурных полей. Приведен список гипотез, характеристики, описывающие различные особенности в общем виде, а также конкретные примеры признаков, которые могут быть сконструированы с применением представленного подхода. Выполнено построение и сравнение алгоритмов классификации в различных признаковых пространствах: только температуры, термометрические признаки, полиномиальные признаки 2-го и 3-го порядков. Показана эффективность применения термометрических признаков при решении задачи диагностики венозных заболеваний по данным микроволновой радиотермометрии.

Ключевые слова: математическое моделирование, интеллектуальный анализ данных, микроволновая радиотермометрия.

Системы, разработанные с применением методов искусственного интеллекта, способны, например, в медицинской диагностике, помогать специалисту выполнять анализ данных обследования и, выступая в роли советника, помогать в процессе принятия решения. Разработка подобных систем является актуальной задачей в настоящее время [1] и требует применения методов математического моделирования, интеллектуального анализа данных и машинного обучения. Массовое применение определенных диагностических методов может оказаться возможным с помощью интеллектуальных систем. Одним из таких методов является микроволновая радиотермометрия, которая достаточно успешно применяется в диагностике и динамическом контроле венозных заболеваний [2], причисляемых к «болезням цивилизации», поскольку количество страдающих ими исчисляется миллиардами.

Целью исследования является построение модели, предназначенной для динамического описания диагностического состояния пациентов с заболеваниями венозной системы по данным микроволновой радиотермометрии и закладывания основ механизма обоснования интеллектуальной системы диагностики.

Рассматривается набор термометрических данных голени 146 пациентов, разделенных на два класса: «Здоровые» (18 человек) и «Больные» (128 человек), к которому относятся данные пациентов с различными заболеваниями вен нижних конечностей. В признаковом описании объекта x^i из набора данных содержатся значения внутренних и поверхностных температур, измеренные определенных точках голени (12 точек) в положениях лежа и стоя. Всего 96 значений, в которых выделяются различные группы в зависимости от их типа (верхний индекс mw – внутренние, ir – поверхностные), положения пациента при измерениях (st – стоя, lay – лежа) и голени, на которой выполнялись измерения (r – правая, l – левая). Например, $T_r^{i,mw,st} = (T_{1,r}^{i,mw,st}, ..., T_{12,r}^{i,mw,st})$ – внутренние температуры правой голени i -го пациента, измеренные в положении стоя.

Далее, для каждой группы или заданных пар групп вычисляются различные характеристики, основанные на гипотезах о поведении температурных полей [3], но характерные для данных голени. Например, согласно гипотезе о незначительном перепаде температур, для здоровых голени характерны невысокие отклонения значений температур относительно средних, особых точек или подобластей. В качестве характеристик, описывающих такие свойства, предлагаются различные функционалы, нормы и

полунормы, например, следующие: $F_1(T) = \max_{t \in T} |t|$, $F_2(T) = \sqrt{\frac{\sum_{t \in T} (t - \bar{T})^2}{|T| - 1}}$, где T – температуры, \bar{T} – среднее значение температур в T , $|T|$ – количество значений температур в T . Более конкретно: $f_1(x^i) = F_1(T_r^{i,mw,st})$, $f_2(x^i) = F_1(T_l^{i,ir,st})$, $f_3(x^i) = F_2(T_r^{i,mw,lay})$. Есть и другие гипотезы.

Пусть f – некоторая характеристика. Путем бинаризации [4] значений этой характеристики, в обучающем наборе данных строятся термометрические признаки – тройки $\varphi = (f, I, W)$, где I – интервал, а W – вес (информативность f на I), или количественный показатель, определяющий насколько хорошо признак отделяет объекты одного класса от других классов. Термометрический признак считается выполненным, или покрывает объект x^i , если $f(x^i) \in I$. Каждый термометрический признак может быть интерпретирован, а вектор

значений таких признаков $(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_s)$ определяет диагностическое состояние пациента.

Термометрические признаки могут быть применены в различных алгоритмах классификации. Для оценки эффективности подхода был построен алгоритм взвешенного голосования [4]. Для взвешивания и отбора признаков применялся алгоритм логистической регрессии с L_1 -регуляризацией [5]. Метод оценивания – метод вложенной перекрестной проверки с сохранением баланса классов [6], который позволяет получить достаточно справедливую оценку эффективности при малом наборе данных и сравнивать различные алгоритмы, требующие настройки. В качестве критерия оценки была выбрана G -мера [7], представляющая собой среднее геометрическое чувствительности, или доли верно классифицированных пациентов класса «Больные», и специфичности, или доли корректно классифицированных пациентов класса «Здоровые», – традиционных показателей эффективности диагностических методов.

Для сравнения были построены алгоритмы классификации только по температурным данным (96 признаков) и с применением полиномиальных признаков [6] различного порядка. Средние оценки представлены в таблице 1. Видно, что представленный подход позволяет строить эффективное признаковое пространство. Примеры термометрических признаков представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Эффективность алгоритмов классификации.

Признаковое пространство	Чувствительность	Специфичность	G -мера
Значения температур	0.648	0.396	0.411
Термометрические признаки	0.812	0.729	0.759
Полиномиальные признаки 2 порядка	0.633	0.479	0.444
Полиномиальные признаки 3 порядка	0.609	0.479	0.429

Таблица 2 – Примеры термометрических признаков.

Термометрический признак	Чувствительность	Специфичность	Описание
$\ T_r^{i,ir,st} - T_l^{i,ir,st}\ _2 \in (1.957, \infty)$	0.7	1	Повышенный разброс поверхностных температур правой и левой голеней, положение стоя
$\ T_r^{i,ir,st} - T_l^{i,ir,st}\ _2 \in [0, 1.387)$	0.09	0.28	Оптимальный разброс поверхностных температур правой и левой голеней, положение стоя (характерен для здоровых)
$ \overline{T_r^{i,mw,lav}} - \overline{T_l^{i,mw,lav}} \in (0.138, \infty)$	0.68	0.89	Повышенная разница средних значений внутренних температур правой и левой голеней, положение лежа
$\ T_r^{i,g,lav} - T_l^{i,g,lav}\ _\infty \in [0, 0.55)$	0.05	0.44	Оптимальный разброс внутренних градиентов температур правой и левой голеней, положение лежа (характерен для здоровых)

Алгоритм взвешенного голосования с применением термометрических признаков подчеркивает их эффективность и позволяет учитывать их ключевую особенность – интерпретируемость – в зависимости от выполнения того или иного признака может быть сформировано обоснование результата диагностики.

Библиографический список

1. Дорожная карта развития «Сквозной» цифровой технологии «Нейротехнологии и искусственный интеллект». 2019. [Электронный ресурс] URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019ii.pdf> (дата обращения: 06.09.2020).
2. Замечник Т.В., Ларин С.И., Лосев А.Г. Комбинированная радиотермометрия как метод исследования венозного кровообращения нижних конечностей: монография // Изд-во ВолгГМУ. 2015.
3. Левшинский В.В. Математические модели интерпретации и анализа термометрических данных в медицинской диагностике // XXIII региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области: Тезисы докладов. 2019. С. 21-22.
4. Воронцов К.В. Лекции по логическим алгоритмам классификации. 2007. [Электронный ресурс] URL: <http://www.ccas.ru/voron/download/LogicAlgs.pdf> (дата обращения: 06.09.2020).

5. Ng A. Y. Feature Selection, L1 vs. L2 Regularization, and Rotational Invariance. // Proceedings of the Twenty-first International Conference on Machine Learning (ICML '04), ACM, Banff, Alberta, Canada, 2004. P. 78.
6. Раука С. Python и машинное обучение // М: ДМК Пресс. 2017.
7. Bekkar M., Djema H., Alitouche T.A. Evaluation measures for models assessment over imbalanced data sets // Journal of Information Engineering and Applications. 3(10). 2013. P. 27–38.

ABOUT THE MODEL AND METHOD FOR CONSTRUCTING FEATURES IN THE DIAGNOSTICS OF VENOUS DISEASES BASED ON MICROWAVE RADIOTHERMOMETRY DATA

Levshinskii Vladislav V.

Volgograd State University, 100, Prospect Universitetsky, Volgograd, 400062,
Russia, v.levshinskii@volsu.ru

In this paper we explore a set of thermometric data of the lower extremities. We present a model of the patient's diagnostic state and the method for constructing an efficient feature space based on hypotheses about the behavior of temperature fields. A list of hypotheses, characteristics describing various features in general form, as well as specific examples of thermometric features that can be constructed using the presented approach are given. We also build and compare classification models in various feature spaces: temperatures, thermometric features, 2nd and 3rd degree polynomial features. We have shown the effectiveness of thermometric features in the problem of diagnosing venous diseases based on microwave radiothermometry data.

Keywords: mathematical modelling, data mining, microwave radiothermometry.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Найданов Илья Валерьевич, Ланин Вячеслав Владимирович

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
614070, Россия, г. Пермь, ул. Студенческая, 38, turbcool@gmail.com,
vlanin@hse.ru

Работа посвящена решению задачи прогнозирования местоположения транспортных средств по истории их передвижения, полученной от систем городского видеонаблюдения. Описаны современные методов прогнозирования и процесс проектирования приложения, реализующего методы прогнозирования местоположения с помощью цепей Маркова и нейронных сетей. Результаты данной работы могут быть полезны исследователям, рассматривающим возможность применения методов интеллектуального анализа в ГИС класса «Безопасный город».

Ключевые слова: ГИС системы, Марковские модели, прогнозирование географического местоположения.

Одной из актуальных задач интеллектуального анализа данных в ГИС является прогнозирование местоположения объекта [1, 2]. Прогнозирование осуществляется на основании исторических данных о передвижении объекта и позволяет с определённой степенью достоверности предполагать, в каком направлении объект будет двигаться через промежуток времени. На сегодняшний день множество городов начинают использование комплексных информационных систем класса «Безопасный город», которые предназначены для управления информацией, поступающей от систем городского видеонаблюдения [3, 4, 5]. Дорожно-патрульные службы используют подобные ГИС для определения местоположения нарушителей с целью их последующего задержания. В большинстве систем, местоположение ТС определяется только в текущий момент времени, так как методы интеллектуального анализа в таких ГИС ещё не получили должного развития. Чтобы эффективно задерживать нарушителей, дорожно-патрульным службам требуется получать информацию о будущем местоположении нарушителя. Для решения этой задачи необходимо использовать методы прогнозирования местоположения транспортного средства. На основании анализа литературы можно выделить два основных

подхода к прогнозированию местоположения объекта: с помощью цепи Маркова и с помощью нейронной сети.

Цепи Маркова позволяют прогнозировать будущее состояние системы. Чтобы прогнозировать местоположение, в качестве моделируемого состояния (S) используют координаты объекта. Исходными данными для цепи является последовательность координат, которые объект посетил друг за другом. В качестве множества состояний системы (S) используются исторические данные о местоположении объекта. Построенная цепь Маркова позволяет осуществлять вероятностный прогноз следующего местоположения объекта (состояния системы). Существующие исследования были сравнены по следующим параметрам: тип цепи Маркова, выбор конечного состояния, представление времени, точность полученной модели.

В [7, 8, 11, 12] для прогноза были использованы цепи Маркова 1-го порядка и высших порядков. В [7, 8, 11] цепи Маркова высших порядков позволяли делать более точный прогноз, чем цепи 1-го порядка. В [7] точность прогноза выросла на 15% при увеличении порядка. Таким образом, можно утверждать, что повышение порядка цепи Маркова повышает точность прогноза. Авторы используют различные подходы к выбору состояния для цепи Маркова. В процессе анализа литературы было найдено 2 варианта конечного состояния для цепи Маркова: «локация» – автоматически размеченный регион, который объект часто посещал, координаты участка дороги. В работе [11] в качестве состояния использовалась «локация». Локации рассчитывались с помощью кластеризации данных о местоположении методом k-средних (т.е. по принципу географической близости). Полученная модель позволяет прогнозировать вероятность перемещения объекта в другую локацию. Стоит отметить, что при использовании локации в качестве прогнозируемого состояния становится невозможным спрогнозировать точное местоположение объекта. Если размер локации охватывает несколько дорог (например, в радиусе 100 метров), невозможно определить по какой из дорог поедет транспортное средство.

В работе [10] в качестве состояния был использован участок дороги. Исходные данные были собраны с автомобильных датчиков GPS и представлены в виде набора координат в формате «широта/долгота» для каждого транспортного средства. Исходные данные были «наложены» на заранее сформированный граф дорог, который содержал информацию о координатах участков дорог и связях между ними. Набор координат для каждого транспортного средства был преобразован в маршрут, который

проходил по заранее известным участкам дорог из графа дорог. Это позволило использовать координаты участка дороги в качестве состояния для цепи Маркова, которое можно было прогнозировать. Таким образом, полученная модель позволяла делать прогноз следующего участка дороги, через который проедет водитель транспортного средства. Точность прогноза полученной модели равна 90% (при горизонте прогноза, равным 1 участку дороги). Главное достоинство этого подхода заключается в том, что точность модели и качество прогноза получились намного выше, чем при использовании локаций. Недостатком данного подхода является невозможность осуществить прогноз вне графа дорог. Если транспортное средство перемещается вне территории, описанной графом дорог, прогнозирование местоположения выполнить невозможно.

В классической модели Маркова время является дискретным параметром [9]. Для устранения этих ограничений были проведены исследования на тему прогнозирования местоположения с использованием непрерывной цепи Маркова (использующей непрерывное представление времени). Точность прогнозирования модели с непрерывным представлением времени получается низкой (40%) [6], по сравнению с классическими цепями Маркова (61%[1], 75%[2], 90%[10]).

В исследованиях [8, 13] авторы используют два входящих признака для РНН – «траекторию», которая представлена как последовательность посещенных локаций и «маршрут», содержащий последовательность координат с временем проезда. В работах [14, 15] прогноз производится на основании только одного признака – «траектории». Точность прогноза по моделям, построенным на основе рекуррентных нейронных сетей составляет ~55% [16], ~60% [8] и ~73% [13, 14]. В исследовании [8] автор использовал для прогнозирования следующие разновидности моделей: классическая цепь Маркова 1-го порядка, сверточная нейронная сеть, рекуррентная нейронная сеть с долгой краткосрочной памятью, глубокая рекуррентная нейронная сеть с долгой краткосрочной памятью. В данном исследовании нейронные сети показали большую точность (~51-72%) в сравнении с классической цепью Маркова (~47%). Высокая точность была достигнута за счёт того, что кроме местоположения объекта, в модель были включены дополнительные исходные данные о загруженности дорог и погодных условиях. Кроме того, глубокая РНН показала более лучшие результаты (72%), чем простая РНН (61%).

В результате анализа метода прогнозирования с помощью цепей Маркова было выяснено, что использование графа дорог (или других аналогичных

графов) в качестве состояния цепи Маркова значительно повышает качество прогноза. Также было обнаружено, что цепи Маркова высших порядков показывают более точные результаты прогноза. При анализе метода прогнозирования с помощью нейронных сетей были сделаны следующие выводы. Во-первых, рекуррентные сети показывают более высокую эффективность, по сравнению со сверточными сетями в задачах прогнозирования местоположения. Во-вторых, использование в нейронной сети данных о погоде и загруженности дорог повышает точность прогноза. В-третьих, глубокий вариант рекуррентной сети демонстрирует более высокую точность прогноза.

Библиографический список

1. *Du Y., Wang C., Qiao Y., Zhao D., Guo W.* A geographical location prediction method based on continuous time series Markov model. // PLoS ONE. 2018. №13(11).
2. *Linyuan Xia, Qiumei Huang, Dongjin Wu.* Decision Tree-Based Contextual Location Prediction from Mobile Device Logs. // Hindawi Mobile Information Systems. 2018. Article ID 1852861, 11 pages.
3. *David B. et al.*, "SMART-CITY: Problematics, techniques and case studies," 2012 8th International Conference on Computing Technology and Information Management (NCM and ICNIT), Seoul, 2012, pp. 168-174.
4. *Al Nuaimi, E., Al Neyadi, H., Mohamed, N. et al.* Applications of big data to smart cities. J Internet Serv Appl 6, 25 (2015).
5. *K. Su, J. Li and H. Fu*, "Smart city and the applications," 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC), Ningbo, 2011, pp. 1028-1031
6. R vs Python. [Электронный ресурс] // Data-Flair Training. 2020. URL: <https://data-flair.training/blogs/r-vs-python/> (дата обращения: 01.06.2020).
7. *Qiao Y, Si Z, Zhang Y, Abdesslem FB, Zhang X, Yang J.* A hybrid Markov-based model for human mobility prediction. // Neurocomputing. 2018. №278. pp. 99–109.
8. *Mathew W, Raposo R, Martins B.* Predicting future locations with hidden Markov models. // ACM Conference on Ubiquitous Computing. 2012. pp. 911–918.
9. *Fan, Xiaoliang & Guo, Lei & Han, Ning & Wang, Yujie & Shi, Jia & Yuan, Yongna.* (2018). A Deep Learning Approach for Next Location Prediction. pp. 69-74.
10. *Гихман И.И., Скороход А.В.* Теория случайных процессов, 1975г.

11. *Krumm John*, A Markov Model for Driver Turn Prediction. // Society of Automotive Engineers (SAE) 2008 World Congress. 2008.
12. *Gambs S., M.-O. Killijian, M. Nunez del Prado C.* Show me how you move and I will tell you who you are. // Transactions on Data Privacy, volume 2. pp. 103-126, Catalonia, Spain, 2011.
13. *Gambs S., M.-O. Killijian, M. Nunez del Prado C.* Next Place Prediction using Mobility Markov Chains. // Proceedings of the 1st Workshop on Measurement, Privacy, and Mobility, MPM'12, 2012.
14. *Al-Molegi, Abdulrahman & Ballesté, Antoni & Jabreel, Mohammed.* Geo-Temporal Recurrent Model for Location Prediction. 2017.
15. *Heni, Kaaniche & Kamoun, Farouk.* Mobility Prediction in Wireless Ad Hoc Networks using Neural Networks. 2010.

ANALYSIS OF METHODS FOR VEHICLE LOCATION PREDICTION

Naydanov Ilya V., Lanin Viacheslav V.

National Research University Higher School of Economics, st. Studencheskaya, 38,
Perm, Russia, 614070, turbcool@gmail.com, vlanin@hse.ru

The paper is devoted to solving the problem of predicting the vehicle location based on the history of its movement obtained from city video systems. Modern forecasting methods and the process of designing an application that implements location prediction methods using Markov chains and neural networks are described. The results of this work could be applied in the GIS system such as "Safe city".

Key words: GIS system, vehicle location prediction, geographical location prediction, Markov model

ПОДХОД К КЛАСТЕРИЗАЦИИ ТЕКСТОВ ОПИСАНИЯ ВАКАНСИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ТРЕБОВАНИЙ К СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ В ИТ

Снегирев Артем Станиславович

Пермский государственный национальный исследовательский университет
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, artemsnegirevpsu@gmail.com

Качество образовательных программ зависит от понимания текущих требований рынка труда. Сегодня специальности в сфере ИТ не стандартизированы, поэтому набор компетенций, предъявляемый к соискателю, может варьироваться в зависимости от компании, что часто вводит в заблуждение и приводит к экономическим убыткам. Автором продемонстрирован подход для анализа востребованных компетенций и специальностей из текстов вакансий. Предложенный подход основан на векторном представлении с помощью модели word2vec и подхода WVavgPool. Разработан и реализован подход, комбинирующий несколько техник: NCA и CURE. Качество кластеризации сравнивается с действительными специальностями в текстах вакансий. В результате получен AMI равный 0.62, что показывает применимость данного подхода.

Ключевые слова: рынок труда, анализ вакансий, обработка естественного языка, кластерный анализ, компетентностный подход, word2vec.

Введение

На сегодняшний день разработчикам образовательных программ необходимо быстро подстраиваться под текущие требования работодателей и учитывать их возможные изменения в будущем. Для своевременного реагирования необходимо понимать востребованность компетенций и специальностей. Одним из возможных подходов для анализа востребованности компетенций и специальностей является кластеризация текстов с описанием вакансий и дальнейшей их обработкой. Проблемы этой задачи заключаются в том, что не существует единой и открытой базы знаний компетенций, а требования к одной и той же специальности могут отличаться в зависимости от страны, компании или отрасли. Возможным решением этих проблем является создание автоматически обновляемой базы знаний компетенций, которая будет использоваться для семантического анализа текстов с описанием вакансий. В этой работе автор использует подход для кластеризации текстов с

использованием статической базы знаний. Подход анализа текстов вакансий основан на допущении, что вся совокупность размещенных вакансий на всех досках объявлений есть репрезентация требований, которые работодатели в действительности предъявляют к соискателям.

Данная работа устроена следующим образом: в разделе II описаны похожие работы; в разделе III представлено описание используемых данных и методика их сбора; в разделе IV описан подход к векторизации и кластеризации текстов, продемонстрированы результаты кластеризации; в разделе V – заключение и дальнейшая работа.

Похожие работы

Для выявления специальностей и востребованных компетенций был предложен подход на основе LDA [1]. На выборке из 1385 описаний вакансий были получены 30 компетенций и 20 специальностей с наиболее востребованными компетенциями. Данный подход не учитывает разные формы написания компетенций (например, Kubernetes и K8S). Поэтому при анализе востребованных компетенций разные написания одной и той же компетенции будут проанализированы отдельно.

В работе [2] был предложен подход к кластеризации вакансий с помощью KMeans. На выборке из 250 тысяч описаний вакансий были получены 20 специальностей. В данной работе словарь компетенций насчитывал всего 69 наименований, которые не учитывали разное написание. В качестве векторизации было использовано BoW преобразование, которое не учитывает семантическую близость между компетенциями (например: Vue.js и React.js будут также далеки друг от друга по применению как Scala и Prolog).

Онтологический подход был использован в работе [3] для извлечения компетенций. Полученные компетенции были объединены в группы с помощью co-word анализа. Далее те же исследователи показали, как полученные группы можно использовать для анализа временных рядов, чтобы прогнозировать востребованность компетенций [4]. Был взят быстроразвивающийся сектор Data Science, построены кластеры компетенций, и на основе 40 временных рядов выявлялись новые группы быстрорастущих компетенций.

В отличие от рассмотренных работ автор предлагает использовать статический контролируемый словарь для задачи извлечения именованных сущностей (компетенций) из текста, чтобы не зависеть от формы написания компетенции, а также использовать word2vec для задачи векторного преобразования текстов. Полученные векторы текстов используются для

кластеризации с помощью алгоритма CURE. Качество кластеров оценивается с помощью метрик AMI (Adjusted Mutual Information) и Silhouette.

Сбор данных

Для формирования словаря использован ресурс Glossarytech, который предоставляет наиболее встречающиеся термины сферы ИТ, используемые работодателями и соискателями. Всего получено около 2000 терминов с их описанием. Сервис Glossarytech NER использован для извлечения терминов из текста. Тексты вакансий автоматизировано получены с ресурсов StackOverflow и BuiltIn в период с 01.03.2020 по 01.05.2020. Также для обучения word2vec модели получены описания онлайн-курсов с ресурса ClassCentral. Всего получено около 8000 текстов. Для корпуса текстов, полученных с веб-ресурсов, выполнена предобработка для кодировки ASCII: удалены символы, не входящие в кодировку, и символы, чья позиция меньше 32. Каждый токен был лемматизирован, из текстов исключены стоп-слова.

Векторизация и кластеризация текстов

Вектор текста получен с помощью подхода WVavgPool [5] как среднее от суммы векторов компетенций, которые встретились в тексте. Далее полученные векторы использовались для кластеризации. Проведен опытный эксперимент для того, чтобы получить набор параметров, который максимизирует итоговые метрики качества. Методика заключается в переборе всевозможных комбинаций параметров и вычислении итоговой метрики качества.

Каждая вакансия была размечена меткой, которая выбиралась на основе заголовка вакансии. Это было сделано для того, чтобы оценить качество кластеризации с помощью метрики AMI и сравнить распределение вакансий в кластерах с действительными названиями вакансий. Всего получено 12 меток. Каждой вакансии соответствовала единственная метка. Для того, чтобы получить метки, проанализированы наиболее встречающиеся пары слов в заголовках, такие как “Frontend” и “Developer” или “Cloud” и “Engineer”. Таким образом получены метки-кандидаты. На рисунке 1 показаны все выделенные метки и количество вакансий с этими метками.

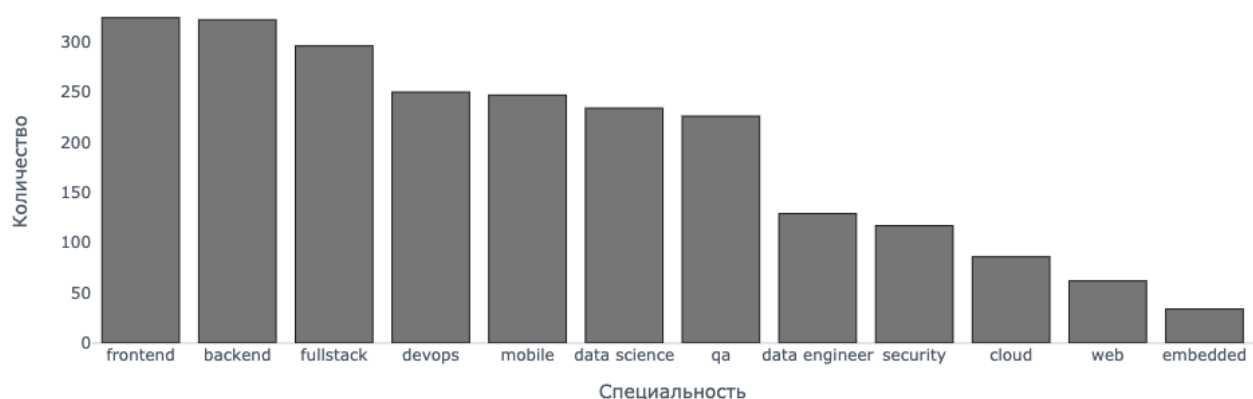


Рисунок 1 – Распределение текстов с StackOverflow и BuiltIn по специальности

Лучший результат в эксперименте получен при следующих параметрах: размер вектора word2vec – 128, размер окна – 15, минимальная частота на весь корпус – 40, метод кластеризации – CURE, количество кластеров – 8. Убраны классы “Web”, “Cloud”, “Fullstack” и “Embedded”. Результаты кластеризации показаны на рисунке 2, где справа – выделенные кластеры, а слева – действительные метки. Цвета не имеют значения. Мера близости получена с помощью алгоритма NCA. Полученные метрики в шкале от 0 до 100: Silhouette – 11, AMI – 62.



Рисунок 2 – Отображение векторов вакансий

Матрица ошибок на рисунке 3 показывает, что кластеры достаточно хорошо сформированы. В приложении 1 и 2 показаны наиболее популярные компетенции в специальности, полученной из заголовка вакансии, и кластере соответственно.

	qa	frontend	mobile	backend	devops	security	data science	data engineer
c7	13	294	7	55	1	4	4	0
c6	137	0	1	6	2	0	1	1
c5	23	9	234	4	0	5	3	0
c4	33	18	2	200	17	10	9	6
c3	6	2	1	3	4	89	0	0
c2	9	1	0	13	218	9	0	3
c1	5	0	2	8	0	0	159	6
c0	2	0	0	33	8	0	60	116

Рисунок 3 – Матрица ошибок для 8-ми классов и 8-ми кластеров

Заключение и дальнейшая работа

Таким образом, использование таких подходов как word2vec, позволяет обнаружить различие в текстах вакансий, основываясь на знании о встретившихся компетенциях. Развитием этого подхода может служить: 1) использование иерархической кластеризации и/или алгоритмов кластеризации, основанных на распределениях, например, GMM (Gaussian Mixture Model); 2) разработка и использование автоматически обновляемой базы знаний компетенций в формате не строгой иерархии.

Библиографический список

1. *Litecky C., Aken A., Ahmad A., Nelson H. J.* Mining for Computing Jobs // IEEE Software 27(1). 2010. P. 78-85.
2. *Gurcan F., Sevik S.* Expertise Roles and Skills Required by the Software Development Industry // 2019 1st International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK). 2019.
3. *Sibarani E.* Ontology-guided Job Market Demand Analysis: A Cross-Sectional Study for the Data Science field // SEMANTiCS. 2017.
4. *Sibarani E.* Generating an Evolving Skills Network from Job Adverts for High-Demand Skillset Discovery // WISE. 2019.
5. *Liu R., Wang D., and Xing C.*, Document classification based on word vectors // 2014

APPROACH TO THE CLUSTERING OF VACANCY DESCRIPTION TEXTS FOR THE ANALYSIS OF JOB REQUIREMENTS IN IT

Snegirev Artem S.

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

The quality of educational programs depends on understanding the current requirements of the labor market. The author has demonstrated an approach for analyzing required competencies and specialties from the texts of vacancies. The proposed approach is based on vector representation using word2vec model and WVavgPool approach. The approach combining several techniques: NCA and CURE was developed and implemented. The quality of clustering is compared with real occupations in texts of jobs. The result is an AMI of 0.62, which shows the applicability of this approach.

Keywords: labor market, vacancy analysis, natural language processing, cluster analysis, competencies, word2vec.

РАЗРАБОТКА ОНТОЛОГИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ ИГРЫ

Чалова Елизавета Игоревна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, chalova-ei@yandex.ru

В работе представлены шаги разработки прототипа игры для обучения людей основам здорового питания. Для управления контентом и игровой логикой использованы методы и средства онтологического инжиниринга. Для создания прототипа использован графический движок Unity. Онтология построена в редакторе Protégé с использованием сведений из БД USDA SR и MP 2.3.1.2432 – 08 и интегрирована с Unity при помощи библиотеки dotNetRDF. Кратко рассматриваются преимущества обучающих игр, их методики и практики по воздействию на игрока. На основе этой информации составлена основная стратегия игрового дизайна. В описании онтологии приведен ее фрагмент и особенности взаимодействия с игрой. Перечислены некоторые свойства классов, предназначенные для хранения информации, и затрагиваются отношения между классами, приведен пример правила в Нотации 3 (N3).

Ключевые слова: онтологии, искусственный интеллект, обучающие игры, N3

Введение

В современном мире наибольшую угрозу для людей несет в себе определенный тип болезней, которые в основном развиваются из-за плохих пищевых привычек и незнания основ здорового питания. Большинство из этих болезней можно предотвратить или замедлить их развитие, с помощью контроля над тем, что мы едим. Поэтому, важно информировать и обучать как можно большее количество людей принципам здорового питания. И для решения подобной задачи может помочь наиболее привлекательный для большинства населения источник информации – игра. В данной предметной области игре понадобится гибкость и возможность настройки содержания и основных правил, чтобы можно было совершать конфигурацию под различные ситуации (возрастные группы, другие болезни и т.п.). Для достижения подобной гибкости оказывается удобным модельно-ориентируемый подход, в частности, использование онтологической базы знаний.

Обучающие игры

Обучающие возможности игр и их положительное влияние исследуются учеными, которые объединяют свои объекты исследования под термином «серьезные игры» (англ. serious games). В данной работе за основу для проектирования игры были взяты результаты деятельности исследовательского проекта «Persuasive Gaming in Context» [1], который занимался изучением принципов дизайна видеоигр, помогающих воздействовать на игрока для изменения его поведения. Также в игре используется процедурная риторика, которая была специально разработана для видеоигр [2]. Данная методика концентрируется на игровых правилах, отображающих игроку упрощенную модель мира, в котором действуют законы, выбранные для демонстрации и симуляции. Эффективность обучения с помощью игр по сравнению с традиционными методами доказывается с помощью экспериментальных лабораторных исследований [3]. Для охвата наибольшей аудитории прототип игры был разработан для мобильных устройств с помощью графического движка Unity.

Управление контентом с помощью онтологии

Игра, претендующая на предоставление достоверной информации, обязана иметь инструмент для легкой конфигурации и корректировки значений констант и игровых правил. Онтологии являются одним из самых гибких и мощных способов представления знаний и построения формальной модели предметной области. А знания и правила, описанные онтологией, позволяют управлять содержанием приложения и логикой его работы, не изменяя исходный код. Это дает возможность своевременно вносить изменения в работу игры даже тем людям, которые не обладают навыками программирования. Подход применения онтологии в качестве ядра настраиваемых графических приложений хорошо себя зарекомендовал и был описан в работе [4], в связи с чем, при разработке обучающей игры было решено использовать именно этот способ формализации знаний. На данный момент в игру с помощью онтологии загружается основной контент, а по правилам, которые основываются на действиях игрока, выводятся заключения о состоянии персонажа.

Онтология игры

Основная идея игры – симуляция питания с наглядными последствиями. Предполагается, что игрок в ней сможет экспериментировать с разными продуктами питания, смотреть их химический состав (нутриенты) и видеть последствия их употребления на своем персонаже в виде определенных

состояний, вызываемых болезнями. В связи с этим, описание предметной области игры было сведено к пяти основным классам: «Персонаж», «Продукт питания», «Болезнь», «Состояние персонажа», «Нутриент» (см. рисунок 1).

Класс «Персонаж» содержит один экземпляр персонажа со свойствами для хранения информации, необходимой для определения игрового объекта. Некоторые значения свойств изменяются во время игровой сессии, другие носят справочный характер. Отношения «болеет» и «имеет состояние» выводятся по правилам, описанным в онтологии.

Класс «Продукт питания» содержит справочную информацию для игры, экземпляры представляют собой определенную еду, которой можно накормить персонажа, например, апельсин или шпинат. Свойства включают в себе информацию для игрового магазина и для подсчета количества потребленных нутриентов. Информация о содержании нутриентов в продукте питания берется из базы данных USDA SR [5].

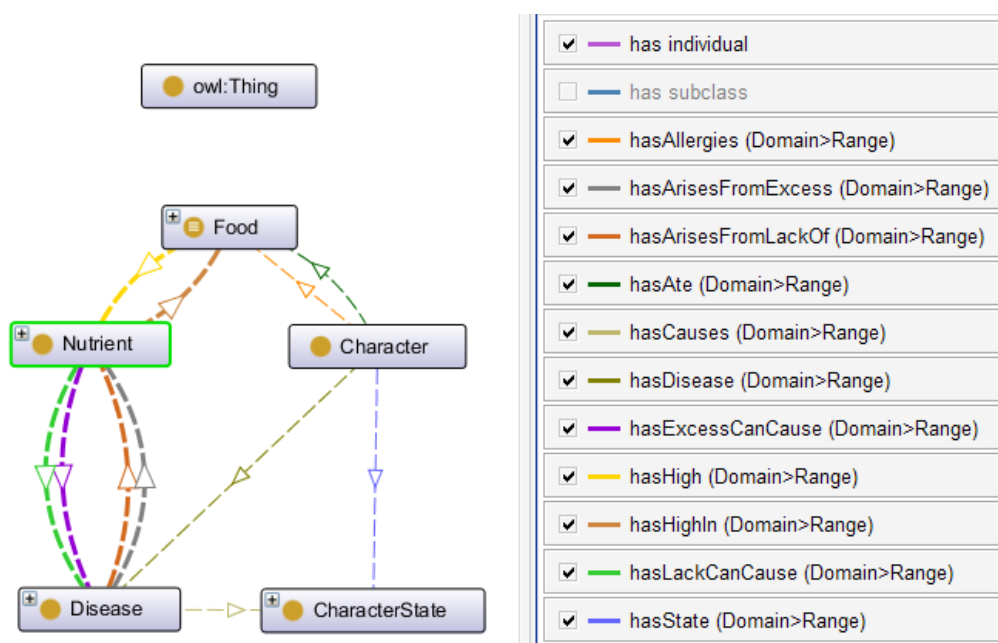


Рисунок 1 – Основные классы онтологии и отношения между ними в среде Protégé

Класс «Болезнь» является одним из основных для правил, описываемых онтологией. Экземпляры представляют собой определенные болезни, которые могут возникнуть у персонажа при специальном или невольном соблюдении условий правил.

«Состояние персонажа» описывает определенные состояния, возникающие при болезни. Свойства класса несут информацию, которая используется в игре для демонстрации определенного состояния, например, соответствующее название анимации или звука. В игре онтологически управляемая машина

состояний персонажа инициализируется с указанными значениями и воспроизводит состояния в нужные моменты.

Класс «Нутриент» одновременно является и справочным классом, и классом для хранения информации, сгенерированной игрой. Правила, описанные в онтологии, используют эту информацию для сверки и вывода заключения о том, чем сейчас болеет персонаж. Основные подклассы нутриентов в игре: «Общее», «Белок», «Липид», «Углевод», «Витамин», «Минерал». Информация о суточных нормах и верхнем допустимом уровне потребления нутриентов взята из Методических рекомендаций 2.3.1.2432 – 08, разработанных при участии ГУ НИИ питания РАМН [6]. При первом запуске игры, значение суточной нормы потребления «Энергия» рассчитывается по формуле «Миффлина – Сан Жеора» [7], коэффициенты к которой берутся из свойств класса «Персонаж», заполненных игроком при создании персонажа. Затем от полученного суточного энергопотребления рассчитываются значения нутриентов классов «Белок», «Липид» и «Углевод», с помощью указанных в документе МР 2.3.1.2432 – 08 констант. Значения нутриентов из классов «Витамин» и «Минерал» не рассчитываются, потому что их суточные нормы потребления не колеблются от показателей роста и веса человека.

Описание правил

Для интеграции онтологии с игровым движком Unity была выбрана библиотека dotNetRDF с открытым исходным кодом. Встроенная в библиотеку машина логического вывода принимает на вход правила, записанные в Нотации 3 (N3) [8]. Пример правила в N3 для предметной области игры: {?p ex:Персонаж. ?p ex:болеет ?болезнь. ?болезнь ex:вызывает ?состояние.} => {?p ex:имеетСостояние ?состояние}. Данное правило позволяет автоматически добавлять экземпляру класса «Персонаж» отношение «имеет состояние», соответствующее болезни, которой он заболел, и которая это состояние вызывает.

Заключение

Построенная онтология является прикладной, и использовать ее планируется исключительно в одном приложении. Однако с ее помощью была достигнута цель по отделению знаний о предметной области в игре от исходного кода, и был создан инструмент для быстрого и легкого управления контентом игры и ее правилами. В обучающих играх главную роль зачастую играют именно информация и правила игры, и разработчики стараются предоставлять инструменты, которые позволяют проводить настройку и корректировку игр для своих целей [9].

Библиографический список

1. *de la Hera Conde-Pumpido T.* Persuasive Gaming: Identifying the different types of persuasion through games // International Journal of Serious Games. 2017. V.4. №1.
2. *Bogost I.* Persuasive Games: The expressive power of videogames. Cambridge, MA: MIT Press, 2007.
3. *Ruggiero D.* The effect of a persuasive social impact game on affective learning and attitude // Computers in Human Behavior. 2015. V.45. С.213-221.
4. *Ryabinin K., Chuprina S.* Development of ontology-based multiplatform adaptive scientific visualization system // Journal of Computational Science. 2015. №10. С. 370-381.
5. U.S. Department of Agriculture [Электронный ресурс] URL: <https://fdc.nal.usda.gov/> (дата обращения: 19.02.2020).
6. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ. Мет. рек. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.
7. Basal metabolic rate [Электронный ресурс] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Basal_metabolic_rate (дата обращения: 20.02.2020).
8. N3 rules: good practices, design patterns, refactoring. [Электронный ресурс] URL: http://eulergui.sourceforge.net/n3_rules_good_practices.html (дата обращения 27.02.2020).
9. *Michael D., Chen S.* Serious Games: Games That Educate, Train, and Inform. Boston, MA: Thomson Course Technology PTR, 2006.

THE DEVELOPMENT OF ONTOLOGY- DRIVEN EDUCATIONAL GAME

Chalova Elizaveta I.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, chalova-ei@yandex.ru

This paper presents the steps of developing a prototype game for teaching people the basics of healthy eating. Ontology engineering methods and tools are used to manage content and game logic. The Unity graphics engine is used to create the prototype. The ontology is built within the Protégé editor using data from the USDA SR database and MR 2.3.1.2432 – 08 and integrated with Unity using the dotNetRDF library. The advantages of educational games, their methods and practices for persuasion the player are briefly considered. Based on this information, the main strategy of game design is compiled. The description of the ontology shows its fragment and features of interaction with the game. Some class properties that are intended for storing information are listed, and the relationships between classes are affected. There is also an example of writing a rule in Notation 3 (N3).

Keywords: ontologies, artificial intelligence, educational games, serious games, N3

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АНАЛИЗА ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ОКРАСКИ ТЕКСТОВ НА ОСНОВЕ СЛОВАРНОГО ПОДХОДА

*Якубов Рустам Муслимович, Боганюк Юлия Викторовна,
Воробьева Марина Сергеевна*

Тюменский государственный университет, 625003, Россия, г. Тюмень,
ул. Володарского, 6, m.s.vorobeva@utmn.ru

В статье рассматривается словарный подход к решению задачи бинарной классификации текстовых документов по эмоциональной окраске. Были выполнены шаги по предобработке исходных данных, такие как удаление лишних символов, знаков пунктуации и стоп-слов, лемматизация. Особое внимание отведено разработке собственного словаря сентиментов с учетом эмоционального веса каждого из них, а также реализации алгоритма определения эмоционального класса документа на основе расчета весов каждого слова. Также был сформирован тестовый датасет, для определения работоспособности разработанной модели. В качестве исходного датасета выбран набор текстов в открытом доступе с отзывами пользователей об услугах. Тестирование словаря на размеченных документах показало высокую точность классификатора – 72,12%. При этом точность классификатора не зависит от обучающей выборки.

Ключевые слова: анализ текстов, анализ данных, эмоциональная окраска, машинное обучение

Классификация текстов одна из областей обработки естественных языков, которая набирает всё большую популярность с каждым годом. Каждый день миллионы пользователей высказывают свои мнения об услугах и продуктах в микроблогах, социальных сетях и других информационных ресурсах. Извлечение мнения из неструктурированного пользовательского текста имеет важное значение для коммерческих организаций, так как с помощью предоставленных данных компании смогут узнать объективного мнение потребителей или выявить недостатки своих продуктов, что позволяет в дальнейшем повысить уровень предоставляемых услуг.

Для решения задачи выделения полезной субъективной информации применяются алгоритмы анализа тональности текста, которые позволяют в множестве текстовых документов, содержащих в себе эмоции и оценки

определенных объектов, например, отзывы о фильмах, книгах, продуктах, определить положительную или отрицательную полярность каждого документа [1]. Нами будет рассмотрен словарный подход к решению задачи бинарной классификации отзывов пользователей о различных товарах и услугах и определению их эмоциональной окраски.

Для решения задачи классификации текстов по эмоциональной окраске на основе словаря в первую очередь требуется сконструировать коллекцию сантиментов, в которой каждому слову ставится в соответствие число, характеризующее эмоциональный вес этого слова [2, 3]. Был использован готовый тональный словарь, содержащий более 28 000 слов, каждое из которых имело свою метку полярности из множества $[-1; 0; 1]$, где 1 соответствует словам с максимально положительной окраской, 0 – словам с нейтральной окраской, а -1 – словам с максимально отрицательной окраской.

Так как рассматривается решение задачи бинарной классификации, то найденный словарь требовал определенной обработки, а именно распределение всех слов на два класса с положительной и отрицательной эмоциональной оценкой соответственно [4]. В исходном словаре требуется удаление слов, несущих нейтральную оценку и замену полярных меток на более простые согласно условиям: если текущая метка термина не превышает значение -0,35, то присваиваем слову вес равный -1, если оценка термина больше 0,45, то присваиваем слову вес 1, в противном случае удаляем слова из коллекции. Таким образом был получен тональный словарь, содержащий 12797 слов, где 6772 слова несут положительный вес, а остальные 6025 слов негативную оценку.

Прежде чем приступить к оценке исследуемых документов их нужно предварительно обработать, то есть применить комплекс методов, переводящих текст на естественном языке в формат, подходящий для дальнейшей работы. Выполняются следующие операции:

- Перевод всех букв в тексте в нижний или верхний регистры;
- Удаление чисел или замена на текстовый эквивалент;
- Удаление пунктуации;
- Удаление стоп-слов;
- Лемматизация.

Данные операции значительно упрощают обработку текста и, в частности, уменьшают размерность исходного сообщения [5].

Перевод всех букв в нижний или верхний регистры позволяют составить однородную модель строк, что используется при осуществлении операции сравнения отдельных составляющих строк.

Удаление чисел, пунктуации и стоп-слов значительно снижают размер исходного текста (под размером подразумевается количество слов в тексте) и количество лишних слов, которые часто не несут никакой эмоциональной окраски (союзы, местоимения и т. п.)

Лемматизация применяется для приведения слова к его нормальной форме (лемме) и основывается на морфологическом анализе каждого слова, вследствие чего показывает высокую точность, но при этом требует большого количества временных ресурсов.

В качестве определения тональности для словарного подхода был разработан алгоритм, идея которого заключалась в следующем:

1. Предварительно обработанный текст разбивался на массив слов, и далее каждое слово текста рассматривалось на наличие в словаре, как слово, несущее положительную или отрицательную тональность.
2. Для определения эмоциональной оценки документа использовалась переменная целочисленного типа, которая накапливала в себе сумму весов каждого слова, которое встречалось в словаре, то есть производился поиск текущего слова в словаре алгоритмом бинарного поиска, если поиск заканчивался успехом, то к итоговой сумме соответственно прибавлялась или вычиталась единица, в зависимости от эмоционального веса данного слова в тональном словаре.
3. После обработки всего документа ему присваивалась оценка в зависимости от итоговой суммы весов, если сумма не превышала значения ноль, то документу присваивалась негативная оценка, в противном случае положительная тональность.

Временная сложность алгоритма:

$$T(N) = O(N * \log \log |V|),$$

где N – количество слов в документе, V – размер словаря.

Важной частью работы является отбор тестирующей выборки для определения точности полученной модели. Для тестирования полученного словаря был использован корпус отзывов о товарах и услугах, полученный путем извлечения с помощью парсера текста и оценки каждого отзыва с сайта <https://tyumen.flamp.ru/feed>. Корпус отзывов представляет собой коллекцию предварительно обработанных документов, каждый из которых относился к

соответствующему классу. Корпус состоял из 14552 отзывов, среди которых 6085 являлись отрицательными, остальные 8467 – положительными.

Таблица 1 – Результаты оценки точности классификатора

	Количество отзывов				
	500	1000	2500	5000	10000
Точность	72,23%	72,23%	72,28%	72,13%	72,23%
Средняя точность	72,12%				

На основе результатов вычислительного эксперимента можно наблюдать точность классификации, которая в среднем составляет 72,12%, а также стабильность работы классификатора в независимости от размера входных данных.

Таким образом, был исследован метод анализа тональности отзывов пользователей, основанный на словарном подходе классификации документов по эмоциональной окраске. В ходе работы был получен собственный словарь сентиментов, который показал стабильную точность оценки.

Исследование выполнено при поддержке грантового конкурса Фонда В.Потанина.

Библиографический список

1. *Walla Medhat, Ahmed Hassan, Hoda Korashy*: Sentiment analysis algorithms and applications: A survey.- Ain Shams Engineering Journal, Volume 5, Issue 4, December 2014, pp. 1093-1113.
2. *Клековкина М.В., Котельников Е.В.* Метод автоматической классификации текстов по тональности, основанный на словаре эмоциональной лексики (рус.) // RCDL-2012, Переславль-Залесский, Россия : конференция. – 2012.
3. *Пазельская А.Г., Соловьев А.Н.* Метод определения эмоций в текстах на русском языке // The international conference on computational linguistics and intellectual technologies “Dialogue 2011” : конференция. – Москва, 2011. – С. 510 – 522.
4. *Дубаков А.А., Воробьев А.М.* Разработка алгоритма иерархической агломеративной кластеризации для анализа текстовых документов // Математическое и информационное моделирование: сборник научных трудов. Вып. 16. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2018. – 534 с.

5. Пайвин Д.Н., Глазкова А.В. Исследование методов векторного представления естественного языка на примере классификации коротких текстов // Математическое и информационное моделирование: сборник научных трудов. Вып. 17. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2019. – 374 с.

DEVELOPMENT OF THE SENTIMENT ANALYSIS METHOD BASED ON THE AFFECT WORDS APPROACH

Yakubov Ruslan M., Boganyuk Yulia V., Vorobeva Marina S.

University of Tyumen, Volodarskogo St. 6, Tyumen, Russia, 625003,
m.s.vorobeva@utmn.ru

In this paper we discuss affect words approach to texts binary classification problem using their sentiment class. There are few data preparation steps were completed such as symbols, punctuation marks and stop-words removing, lemmatization. Particular attention was paid to affect words dictionary development with sentiment weight of each word and implementation of documents sentiment analysis based on the calculation of word weight. Also we formed the texts dataset for test of final model. As an input dataset we've chosen the open-sourced texts of users reviews about services. Testing of our dictionary using prepared texts showed high accuracy of classification model – 72,12%. Moreover, final accuracy of classification model does not depend on the training sample.

Keywords: text mining, data science, data analysis, sentiment analysis, machine learning

ПРИКЛАДНАЯ ЛИНГВИСТИКА

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВ ПО ВАРИАНТУ ЯЗЫКА И ЖАНРУ

*Донина Ольга Валерьевна, Сидоров Кирилл Александрович,
Коротких Анастасия Дмитриевна, Пендюрина Алина Андреевна*

Воронежский государственный университет, 394018, Россия, г. Воронеж,
ул. Университетская площадь, 1, olga-donina@mail.ru

Данная статья посвящена автоматической классификации фрагментов текста по варианту языка и жанру с помощью такой технологии как искусственные нейронные сети (ИНС). Целью исследования являлась проверка эффективности применения данной технологии для построения простейшего бинарного классификатора. Классификация проводилась на основе данных, взятых из корпусов английского языка Марка Дэвиса Global Web-based English (GloWbE) и News On the Web (NOW). Модель ИНС реализована с помощью открытых нейросетевых библиотек Tensorflow и Keras на языке программирования Python. Все результаты нашего исследования, полученные в процессе тестирования представленной технологии, в том числе результаты эксперимента, поставленного в целях проверки корректности работы ИНС, наглядно представлены в виде таблиц и графиков.

Ключевые слова: компьютерная лингвистика, Natural Language Processing, искусственная нейронная сеть, вариант языка, жанр, автоматическая классификация.

В данном исследовании перед нами стояла задача поиска наиболее эффективного инструмента для проведения автоматической классификации – одной из классических проблем прикладной, в частности компьютерной лингвистики и Natural Language Processing. Классификация производилась по жанру и варианту языка. Подобные критерии были выбраны ввиду актуальности: классификация по жанру, например, помогает сортировать поисковые запросы по релевантности [1], а, классифицировав вариант языка по постам в социальных сетях, можно узнать приблизительное местоположение человека [2], идентифицировать его культурный и социальный контекст. Исходными для классификации являлись корпусные данные, полученные в рамках проекта «Криптоклассы английского языка» кафедры ТиПЛ ВГУ.

За основу классификатора была взята ИНС, классифицирующая отзывы к кинофильмам на положительные и отрицательные. Подробнее со структурой нейронной сети можно ознакомиться в учебном руководстве от Tensorflow [3]. Благодаря таким возможностям как быстрая обработка больших массивов данных ввиду распараллеливания обработки информации (позволяет сократить затраты человеческих ресурсов), и ее способность к самообучению (созданию обобщений), ИНС становится эффективным инструментом в рамках различных исследований [4].

В таблицах далее представлена разбивка фрагментов текстов по вариантам языка и жанрам (см. таблицу 1), а также распределение исходных данных на выборки (см. таблицу 2).

Таблица 1 – Разбивка примеров по вариантам языка и жанрам

Метка	Критерий классификации		Кол-во прим.	ВСЕГО
1	Вариант языка	Британский	68 223	138 770
0		Американский	70 547	
1	Жанр	Публицистический	252 463	389 856
0		Веб	137 393	

Таблица 2 – Распределение данных на выборки. Вариант языка. Жанр

	Выборка, ед.			Выборка, %		
	Обуча- ющая	Валида- ционная	Тестовая	Обуча- ющая	Валида- ционная	Тестовая
Жанр	97 464	97 464	194 928	25%	25%	50%
ВСЕГО	389 856			100%		
Вариант яз.	41 631	27 754	69 385	30%	20%	50%
ВСЕГО	138 770			100%		

Экспериментальным методом были выбраны следующие параметры ИНС (при классификации по вариантам языка): количество эпох при обучении равнялось 50, объем мини-пакета составлял 128 образцов. При них были достигнуты лучшие результаты во время тестирования – точность и коэффициент потерь были равны 0.913 и 0.227 соответственно (см. рисунок 1). Установка большего числа эпох приводила к переобучению, меньшего – к ухудшению показателей работы ИНС.

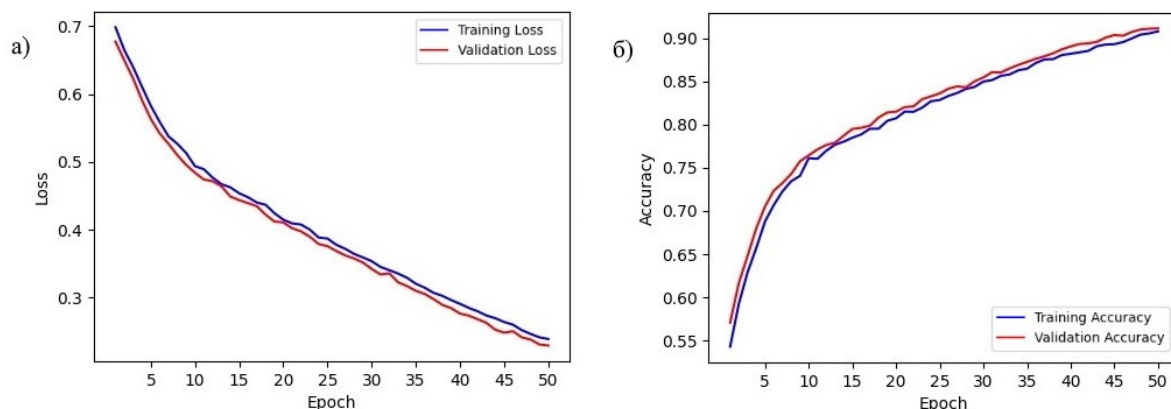


Рисунок 1 – Варианты языка. а) График зависимости коэффициента потерь от номера эпохи; б) График зависимости точности от номера эпохи

Также нами был поставлен эксперимент с целью проверки корректности работы построенной модели. Его суть заключалась в предоставлении нейронной сети 30% неверно и 70% верно размеченных примеров обучающей выборки. Количество эпох, соотношение примеров и размер мини-пакетов при этом не менялись (см. таблицу 2). Точность и коэффициент потерь составили 0.563 и 2.584 соответственно (см. рисунок 2). Подобное ухудшение значений показателей является ожидаемой реакцией нейронной сети на искаженные данные и свидетельствует о правильной работе модели в условиях эксперимента.

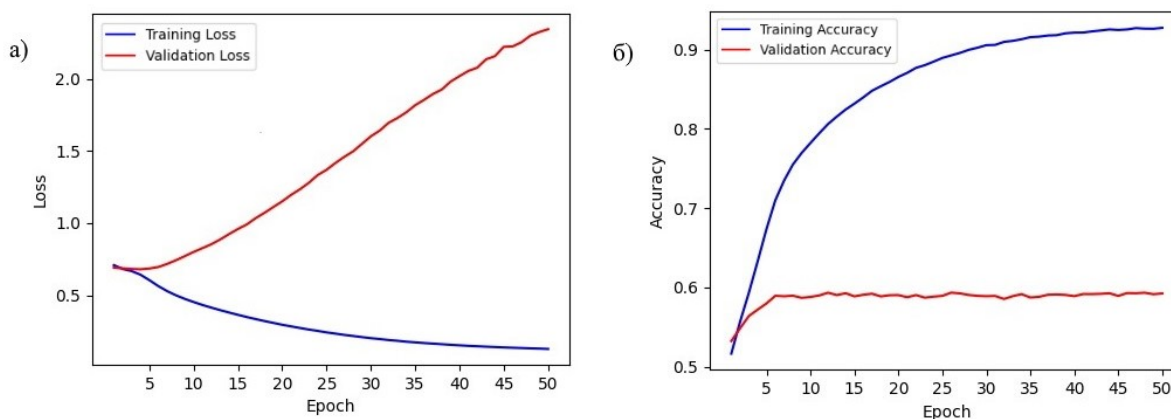


Рисунок 2 – Варианты языка. Эксперимент. а) График зависимости коэффициента потерь от номера эпохи; б) График зависимости точности от номера эпохи

Экспериментальным методом были выбраны следующие параметры ИНС (при классификации по жанрам): количество эпох при обучении равнялось 20, объем мини-пакета составлял 256 образцов. При них были достигнуты лучшие результаты во время тестирования – точность и коэффициент потерь были

равны 0.881 и 0.273 соответственно (см. рисунок 3). Установка большего числа эпох приводила к переобучению, меньшего – к ухудшению показателей работы ИНС.

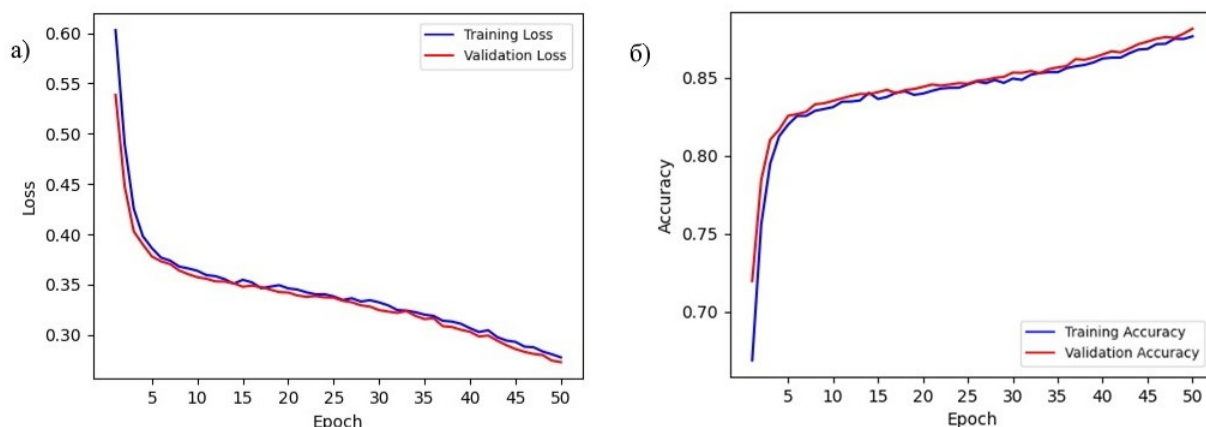


Рисунок 3 – Жанр. а) График зависимости коэффициента потерь от номера эпохи; б) График зависимости точности от номера эпохи

Обе реализации модели достигли достаточно высоких показателей точности (более 85%) и низкого значения коэффициента потерь (менее 0.3). При сопоставлении наших результатов с результатами других исследований можно сделать вывод, что представленная в нашей работе ИНС обладает высокой производительностью. В работе посвященной идентификации варианта языка [5] с использованием мешка слов, N-грамм, векторной и др. моделей представления текста, процент точности был равен 71,5%. В работе по жанровой классификации текстов с помощью сверточных и рекуррентных нейронных сетей [6] наилучший результат был равен 72,12%. Наш результат превысил эти значения больше чем на 10%. Таким образом, для наших данных ИНС оказалась эффективным способом решения задачи автоматической классификации текстов по варианту языка и жанру.

Библиографический список

1. *Dewdney N., VanEss-Dykema C.* The Form is the Substance: Classification of Genres in Text. M.: Proceedings of the ACL 2001 Workshop on Human Language Technology and Knowledge Management, 2001.
2. *Lui M., Cook P.* Classifying English Documents by National Dialect. M: ALTA, 2013. С. 5-15.
3. Учебное руководство от Tensorflow [Электронный ресурс] URL: https://www.tensorflow.org/tutorials/keras/text_classification_with_hub (дата обращения: 05.08.2020)

4. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. 2-е изд., М.: Вильямс, 2006. с.1104
5. *Rangel F., Rosso P., Pothhast M., Stein B.* Gender and Language Variety Identification in Twitter. М.: PAN at CLEF, 2017.
6. *Батраева И. А.* Использование анализа семантической близости слов при решении задачи определения жанровой принадлежности текстов методами глубокого обучения // Вестник Томского государственного университета. 2020. №50. С.14-22.

USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS TO CLASSIFY TEXT GENRES AND DIALECTS

Donina Olga V., Sidorov Kirill A., Korotkikh Anastasia D., Pendyurina Alina A.

Voronezh State University, 1, University Square, Voronezh, 394018, Russia, olga-donina@mail.ru

Abstract: This article is about the automatic classification of text fragments by language variant and genre using the technology of artificial neural networks (ANN). The aim of the study was to inspect the efficiency of this technology application for the binary classifier development. Classification was based on data from the Mark Davis Global Web-based English (GloWbE) and News on Web (NOW) corpora. ANN model was implemented using the open libraries Tensorflow and Keras, written in Python programming language. All of the research results obtained while training and testing ANN, including the results of the experiment set up in order to verify the correctness of the technology's work, are represented in the form of tables and plots.

Keywords: computational linguistics, Natural Language Processing, artificial neural network, dialect, text genre, automatic classification.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ АСПЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО АНАЛИЗА МНЕНИЙ

Зухритдинов Амирхон Наримон угли, Бидуля Юлия Владимировна

Тюменский государственный университет, 625003, Россия, г. Тюмень,
ул. Семакова, 10, rezakien7@gmail.com, bidulya@yandex.ru

Статья посвящена проблеме аспектно-ориентированного анализа мнений, целью которого является выявление факторов, влияющих на мнение пользователей о товарах, услугах. Определение этих факторов является неотъемлемой частью повышения клиенто-ориентированности бизнес-процессов. В данной работе проведено исследование мнений пользователей с применением тематического моделирования методом LDA на материале отзывов о качестве банковского обслуживания, опубликованных в открытом доступе. Данные представлены 84345 отзывами по 438 банкам. Решение поставленной в исследовании задачи происходит в два этапа: на первом – при помощи тематического моделирования извлекается список аспектных терминов, приписанных к определенному топику; на втором этапе для каждого аспектного термина определяется тональность при помощи вычисления меры взаимной информации. Предложенный метод показал хорошую способность разделять аспектные термины в соответствии с их употреблением в положительном и отрицательном контексте.

Ключевые слова: компьютерная лингвистика, сентимент-анализ, аспектно-ориентированный анализ мнений, мера взаимной информации, латентное размещение Дирихле, Python.

Анализ тональности текста – это раздел интеллектуального анализа данных, направленный на выявление закономерностей в текстах. Определение позитивного или негативного отношения пользователей к товару или услуге позволяет оперативно принимать решения об изменениях существующих услуг, оценивать. Как правило, каждый отзыв содержит мнения пользователя о конкретном объекте. Такие мнения структурируются по заранее заданному набору целевых аспектов, т. е. составных частей, либо характеристик оцениваемого объекта. Аспектно-ориентированный анализ мнений – это задача определения полярности мнений в отношении конкретного аспекта, связанного с данной целью [1].

Цель данного исследования: найти слова и выражения, обозначающие важные характеристики сущности (аспектные термины), и классифицировать их по тональности и обобщенным категориям. Материалом для исследования послужили отзывы пользователей банка о качестве обслуживания, собранные на сайте banki.ru (<http://banki.ru>). Ранее на данном материале был апробирован подход к извлечению аспектов, основанный на правилах (rule based) и мере взаимной информации (PMI): аспектные термины выявляются с помощью паттернов, а затем вычисляются величины PMI по отношению к тональности отзывов, тем самым определяя классы аспектов [2].

В данной работе применяется метод тематического моделирования, который относится к алгоритмам обучения без учителя. Тематические модели – это класс генеративных моделей, которые описывают семантическую структуру коллекции документов. Вероятностная тематическая модель выявляет тематику коллекции документов, каждый документ представляется дискретным распределением вероятности тем, а тема – дискретным распределением вероятностей слов. Таким образом, документ принадлежит нескольким темам с некоторой вероятностью, и так же термин также относится к нескольким темам. В данной работе применяется метод латентного размещения Дирихле (LDA – Latent Dirichlet allocation) [3].

Тематическое моделирование в данной работе используется для извлечения аспектных терминов. Основной гипотезой данного исследования является предположение, что каждая тема (топик) отзыва характеризует определенный аспект и состоит из соответствующих аспектных терминов. Подбор оптимальных характеристик тематической модели производился путем вычисления когерентности – меры, задающая количественную оценку согласованности тем в документах по словам [4]. На рисунке 1. показана зависимость когерентности от числа топиков. Видно, что для 10 топиков когерентность максимальна, это число выбрано оптимальной характеристикой тематического моделирования.

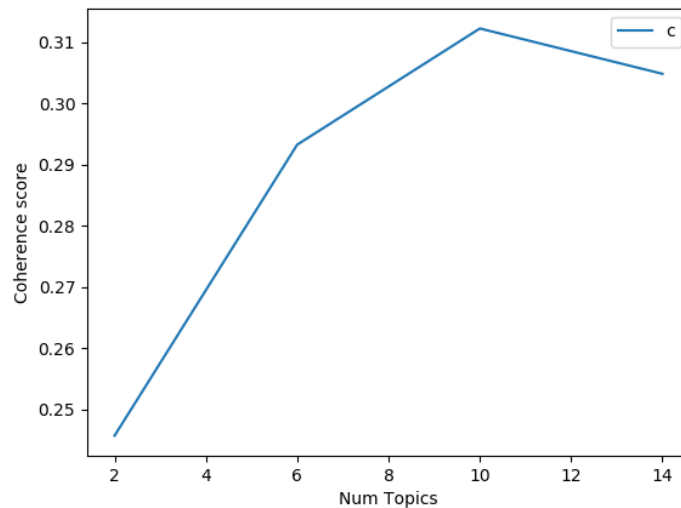


Рисунок 1 – График зависимости когерентности от числа топиков.

Решение поставленной в исследовании задачи происходит в два этапа. На первом этапе при помощи тематического моделирования извлекается список аспектных терминов, приписанных к определенному топик. На втором этапе для каждого аспектного термина определяется тональность при помощи вычисления меры взаимной информации [5]:

$$SCORE(W) = PMI(W, POS) - PMI(W, NEG)$$

оценка PMI для слова в положительных отзывах вычисляется по формуле

$$PMI(W, POS) = \log_2 \left(\frac{count(w, pos) + N}{count(w) * count(pos)} \right),$$

где N – общее количество слов во всех отзывах, $count(w, pos)$ – частота слова в окрестности положительного сентиментного слова, $count(w)$ – частота исследуемого слова во всех отзывах, $count(pos)$ – частота положительных слов во всех отзывах.

Величина $PMI(W, NEG)$ для вычисляется аналогичным образом.

Таким образом, алгоритм определения классов аспектных терминов состоит из следующих шагов.

1. Для каждого отзыва определяется топик. Модель может предлагать несколько топиков к отзыву, выбирается топик с максимальным рейтингом и извлекаются слова этого топика.

2. Отзыв содержит как аспекты, так и сентиментные слова – слова, выражающие тональность мнения. На этом шаге сентиментные слова извлекаются с использованием словаря, встроенного в библиотеку NLTK. Это могут быть прилагательные, наречия, причастия, предлоги и т.д.

3. Для каждого аспектного слова в окрестности от 1 до 5 слов с двух сторон (левая часть от аспекта и правая) находятся сентиментные слова.

Каждое найденное в окрестности сентиментное слово добавляет единицу в $count(w, pos)$ либо $count(w, neg)$ для исследуемого аспектного слова.

4. Вычисляются меры PMI для каждого аспектного термина. Экспериментально был выбран диапазон меры для определения тональности аспекта. Аспекты с тональностью близкие к 0, считаются нейтральными, близкие к -3 – негативно выраженными, а к 3 – положительными.

Для реализации предложенного метода было разработано программное приложение, состоящее из следующих модулей:

1. Парсер отзывов о качестве банковского обслуживания, опубликованных на сайте banki.ru. Для сбора текстов отзывов использовалась библиотека Python BeautifulSoup [6]. Было собрано 84345 отзывов по 438 банкам.

2. Предобработка данных, включающая сегментацию предложений, токенизацию, удаление стоп-слов, лемматизацию. Применялись библиотеки NLTK [7], Gensim [8] и PyMorphy2 [9].

3. Построение векторной модели текстов с предварительной фильтрацией по обратной документной частоте.

4. Построение тематических моделей и извлечение аспектных терминов. Использовалась библиотека Gensim, класс LdaMulticore.

5. Расчет меры взаимной информации и определение тональности аспектных терминов. Визуализация результатов на диаграммах.

Результат экспериментов представлен на рисунках 2, 3. На диаграммах показаны величины PMI для аспектных слов, попадающих в Top-50 по относительной частоте встречаемости в отзывах.

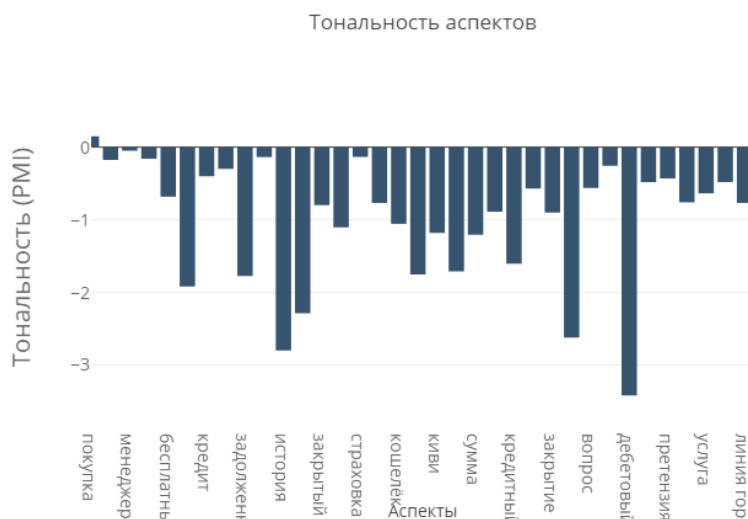


Рисунок 2 – Аспектные термины, употребляемые в негативном смысле.

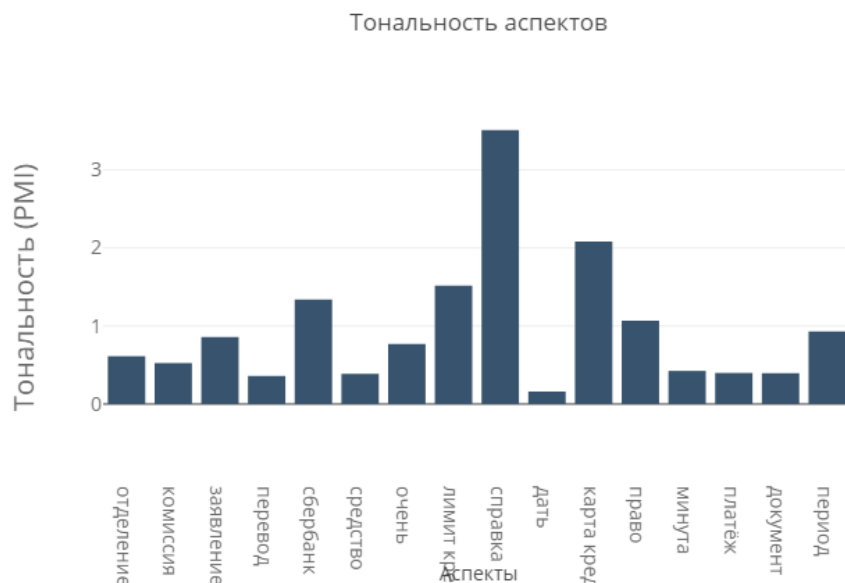


Рисунок 3 – Аспектные термины, употребляемые в положительном смысле.

В дальнейшем планируется построить временные зависимости изменения тональности мнений по аспектам с целью определения наиболее проблемных факторов, влияющих на удовлетворенность клиентов в разрезе предоставляемых услуг.

Библиографический список

1. *Bagheri A., Saraee M., de Jong F.* An Unsupervised Aspect Detection Model for Sentiment Analysis of Reviews, in Natural Language Processing and Information Systems. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 140–151, 2013.
2. *Brunova, E., Bidulya, Yu..* Aspect Extraction and Sentiment Analysis in User Reviews in Russian about Bank Service Quality (2019) 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies, AICT 2017 – Proceedings 10 April 2019, art. no. 8687070. ISBN: 978-153860501-1. DOI: 10.1109/ICAICT.2017.8687070.
3. *Blei D. M., Ng A. Y., Jordan M. I.* Latent Dirichlet allocation // Journal of Machine Learning Research. – 2003. – Vol. 3. – Pp. 993–1022.
4. *Keith Stevens, Philip Kegelmeyer.* Exploring Topic Coherence over many models and many topics. – 2012. URL: <https://www.aclweb.org/anthology/D12-1087.pdf> (дата обращения 16.03.2020).
5. *Mohammad S. M., Kiritchenko S., Zhu X.* (2013) NRC-Canada: Building the state-of-the-art in sentiment analysis of tweets //arXiv preprint arXiv:1308.6242 (дата обращения 16.03.2020).

- 6.BeautifulSoup. URL: <https://pypi.org/project/beautifulsoup4/> (дата обращения 16.03.2020).
- 7.Natural Language Toolkit NLTK. URL: <https://www.nltk.org/> (дата обращения 16.03.2020).
- 8.gensim: Topic modelling for humans. URL: <https://radimrehurek.com/gensim/> (дата обращения 16.03.2020).
- 9.Морфологический анализатор pymorphy2. URL: <https://pymorphy2.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения 16.03.2020).

TOPIC MODELING FOR ASPECT-BASED SENTIMENT ANALYSIS

Zukhritdinov Amirkhon N., Bidulya Yuliya V.

University of Tyumen, 10, Semakova st., Tyumen, 625003, Russia,
bidulya@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the problem of an aspect-oriented analysis of opinions, the purpose of which is to identify factors that influence the opinion of users about goods and services. Identification of these factors is an integral part of increasing customer focus on business processes. In this paper, we conducted a study of user opinions using the topic modeling method on the basis of reviews on the quality of banking services published in the public domain. The data is represented by 84345 reviews for 438 banks. The solution of the problem posed in the study occurs in two stages. At the first stage, a list of aspect terms assigned to a specific topic is retrieved using LDA topic modeling. At the second stage, for each aspect term, tonality is determined by calculating a measure of mutual information. The proposed method showed a good ability to separate aspect terms in accordance with their use in a positive and negative context.

Keywords: natural language processing, sentiment analysis, aspect-based sentiment analysis, pointwise mutual information, topic model, latent Dirichlet allocation, Python.

АБСОЛЮТНОЕ И ОТНОСИТЕЛЬНОЕ «БОГАТСТВО СЛОВАРЯ» НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВЕДЕНИЙ Л.Н. ТОЛСТОГО

*Ломец Мария Викторовна, Кретов Алексей Александрович,
Половинкин Игорь Петрович*

Воронежский государственный университет, 394006, Россия, г. Воронеж, пл.
Ленина, 10, kretov@rgph.vsu.ru, polovinkin@yandex.ru,
marusya.lomets@gmail.com

В данной работе на примере произведений Л.Н. Толстого рассматривается, как распределяются слова в тексте определенной длины, написанного одним автором, который имеет те же характеристики, что и текст той же длины, извлеченный из воображаемого полного бесконечного корпуса, написанного тем же автором.

Ключевые слова: коэффициент лексического разнообразия, закон Ципфа, частотный словарь, предельный размер словаря.

Данное исследование направлено на определение и измерение активного словаря Льва Николаевича Толстого с точки зрения его стилистической окраски. Частота слова отражает, с одной стороны, степень употребительности слова в русском языке 2-й половины XIX в. – начала XX в. и специфические особенности языка Л.Н. Толстого, с другой. У каждого человека есть активный словарь – те слова, которые он использует, и пассивный словарь – те слова, которые он понимает. Нет вопроса об измерении объема пассивного словаря, поскольку вряд ли эта величина будет проверена каким-либо образом.

Для реализации данной научной работы применялся, в первую очередь, закон Ципфа и ранговое распределение. Закон Ципфа – эмпирическая закономерность распределения частоты слов естественного языка, т.е. если все слова языка или длинного текста упорядочить по убыванию частоты их использования, то частота n -го слова в таком списке окажется приблизительно обратно пропорциональной его порядковому номеру n – рангу этого слова. Например, второе по используемости слово встречается примерно в два раза реже, чем первое, и так далее. Одной из наиболее важных закономерностей, выявленных при количественном анализе текстов, является статистическая связь между частотой и рангом слова. В то же время утверждается, что, хотя

слова могут иметь разные ранги в разных текстах, сама форма распределения все еще остается стабильной, форма регулярности в целом. Во всех случаях, когда мы имеем дело с текстами на естественном языке, проявляется так называемый эффект концентрации и рассеивания, заключающийся в том, что существует небольшая группа очень частых слов и большая группа редких слов, между ними наблюдается плавный переход.

Актуальность данного научного исследования связана с возрастающей частотой применения компьютерных технологий при исследовании определенных языковых явлений, а также, при составлении корпусов (множеств текстов, которые оформлены и организованы особым образом), чья максимальная эффективность может быть достигнута лишь благодаря цифровой обработке.

Целью работы является установление максимального объема слова Л.Н. Толстого в корпусе из 20-ти литературных произведений, а также необходимость подтвердить или опровергнуть теорию статьи шведских ученых о частотном распределении слов в тексте определенной длины, написанного одним автором, который имеет те же характеристики, что и текст той же длины, извлеченный из воображаемого полного бесконечного корпуса, написанного тем же автором.

Главным объектом исследования выступают произведения Л.Н. Толстого: «Детство» (1852), «Отрочество» (1854), цикл «Севастопольские рассказы» (1855-1856), «Два гусара» (1856), «Утро помещика» (1856), «Юность» (1857), «Альберт» (1858), «Поликушка» (1862), «Казаки» (1863), «Война и мир» (1863-1869; 3 изд. исправл. 1873), «Анна Каренина» (1873-1877), «Записки сумасшедшего» (1884-1903), «Смерть Ивана Ильича» (1884-1886), «Крейцерова соната» (1887-1889), «Воскресение» (1889- 1899), «Дьявол» (1889-1890), «Отец Сергей» (1890-1898), «Мать» (1891), «Хозяин и работник» (1895), «Хаджи Мурат» (1896-1904).

Для доказательства или опровержения гипотезы о предположении шведских ученых, был взят за основу один из текстов Толстого с наименьшим словоупотреблением – «Мать» (3597 сл/уп). Остальные тексты были поделены на 3 части, каждая из которых состояла из такого же количества словоупотреблений, что и «Мать», после чего разделили тексты на словоформы, посчитав абсолютную и относительную частоты.

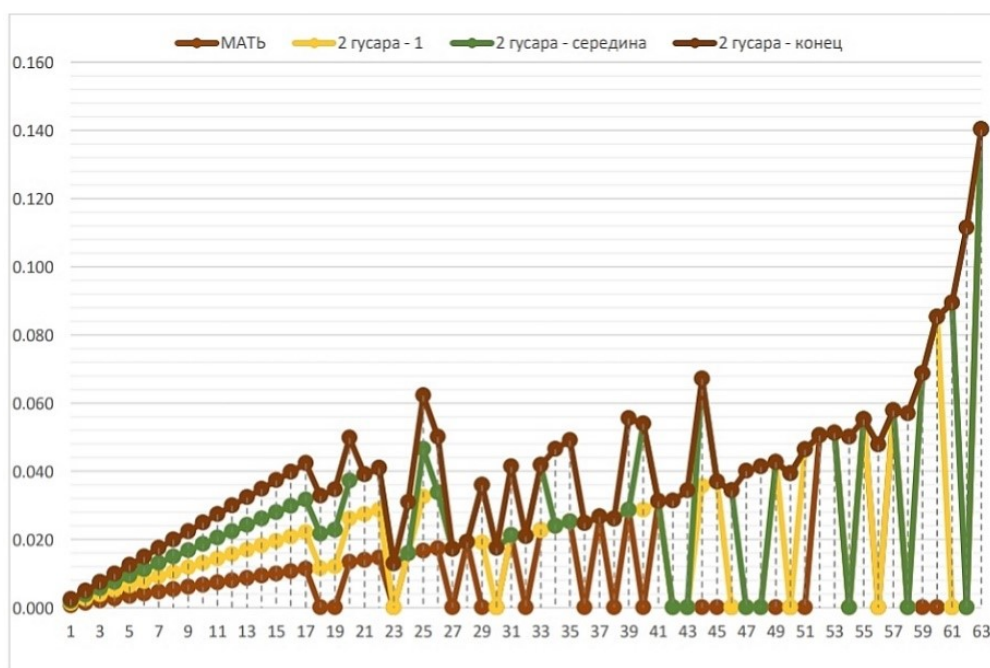


Рисунок 1 – Пример распределения слов по частоте в текстах «Мать» и «2 гусара»

Библиографический список

1. *Алексеев П.М.* К основам статистической лексикографии. – В кн. Проблема слова и словосочетания. ЛГИИ, 1980, с. 95-105.
2. *Алексеев П.М.* Лингвистические распределения (Элементы количественного анализа текста). – ЛПИШ, 1985, – 56 е.
3. *Арапов И.В., Ефимова Б.Н., Шрейдер Ю.А.* О смысле ранговых распределений. – НТИ, сер. 2, 1975, с. 9-20.
4. *Вертель В.А., Вертель Б.В.* Алгоритм получения частотного словаря с учетом длинны словоформ. – В кн.: Статистика текста. Т. 2. Автоматическая переработка текста. Минск, 1970, с.290-311.
5. *Ворончак Б.* Методы вычисления показателей лексического богатства текстов. – Семиотика и искусство. М., 1972, с. 232-249.
6. *Тулдава Ю.А.* Проблемы и методы квантитативно-системного исследования лексики (на материале эстонского языка). Тарту, 1984.
7. *Тулдава Ю.А.* Частотная структура текста и закон Ципфа. – Учен. зап. ТГУ, вып. 711» Тарту, 1985, с. 93-116.
8. *Кретов А.А., Воронина И.Е.* Русское слово как самоподобная рекурсивная структура // Лингвистика на исходе XX века: итоги и перспективы: сб. науч. труд. М.: Филология, 1995, Т. I. С. 269-271.
9. *Папп Ф.* Количественный анализ словарной структуры некоторых русских текстов // Вопросы языкознания. 1961. № 6, С.93-100.

10. *Титов В.Т.* Принципы квантитативной лексикологии (на примере романских языков): автореф. дис. д-ра филол. наук / В.Т. Титов. – Тверь, 2005. – 524 с.
11. *Тархова В.В.* Особенности системного подхода к изучению лексического состава языка // Вестник ВИ МВД России. 2007. №4.
12. *Кретов А.А., Матыцина Л.Н.* Морфемно-морфонологический словарь языка А.С. Пушкина: Ок. 23.000 слов. / А.А. Кретов, Л.Н. Матыцина. – Воронеж: Центрально-Черноземное книжное издательство, 1999. – 208 с.
13. Частотный словарь языка М. Ю. Лермонтова / Под ред. В. В. Бородина, А. Я. Шайкевича / АН СССР. Ин-т рус. лит. (Пушкин. Дом); Науч.-ред. совет изд-ва "Сов. Энцикл." – М.: Сов. Энцикл., 1981. – С. 717–774.
14. *Фрумкина Р.М.* Применение статистических методов в языкознании. – ВЯ, 1960, 4.
15. *Miller, G. A.* Language and communication, New York, 1951.
16. *Templin M.* Certain language skills in children. – Minneapolis: University of Minnesota Press, 1957.
17. *Панн Ф.* Количественный анализ словарной структуры некоторых русских текстов // Вопросы языкознания. 1961. № 6, С.93-100.
18. *Супрун А.Е.* К количественной оценке лексического богатства текста // Филологические науки. 1979. № 1.

THE ABSOLUTE AND RELATIVE "REACHNESS OF THE DICTIONARY" ON THE EXAMPLE OF THE WORKS OF L.N. TOLSTOY

Kretov Alexei A., Polovinkin Igor P., Lomets Maria V.

Voronezh State University, 10, Lenin square, Voronezh, 394006, Russia,
kretov@rgph.vsu.ru, polovinkin@yandex.ru, marusya.lomets@gmail.com

Abstract: In this work, using the works of L.N. Tolstoy examines how words are distributed in a text of a certain length written by one author, which has the same characteristics as a text of the same length, extracted from an imaginary complete infinite corpus written by the same author.

Keywords: lexical diversity coefficient, Zipf's law, frequency dictionary, maximum size of the dictionary.

ВЛИЯНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО И ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРОВ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ НОМИНАЦИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Мукошеева Яна Юрьевна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, mukoseeva71@mail.ru

В статье рассматриваются географические и геологические факторы, которые оказали воздействие на функционирование номинаций промышленного оборудования, металлургических печей и горнов, во второй половине XVIII в. Лексические номинации были извлечены для анализа из источника материала – путевых записок ученых-путешественников, участников академических экспедиций второй половины XVIII в. На географическое распространение номинаций оказало влияние функционирование номинаций в зависимости от географического расположения заводов, от производственных операций и качества руды. Зависимость геологического фактора распространения номинаций была связана с признаком близости или дальности расположения заводов от рудников, что способствовало функционированию определенных лексических номинаций.

Ключевые слова: путевые записки, исторический источник, лексика промышленного оборудования, географический и геологический факторы, печь, горн

Первая четверть XVIII в. стала временем коренного переустройства Российского государства благодаря реформаторской деятельности Петра I, который поставил задачи комплексного исследования территории государства, для чего были организованы научные экспедиции первой половины века, Великая Северная экспедиция, или первая и вторая Камчатские экспедиции. Во второй половине XVIII в., в связи с изменившимися экономическими и промышленными условиями по сравнению с первой половиной вновь возникла потребность в исследовании территории Российского государства. Инициаторами организации экспедиции выступили М.В. Ломоносов и Академия наук, которые предложили организовать научные экспедиции, инициатива которых была одобрена государственными структурами. Целями экспедиций стали проведение разведки новых источников природных

ископаемых, экономических и промышленных ресурсов, изучение возможностей для развития торговли и сельского хозяйства, описание географических особенностей отдаленных районов государства, бытовых условий жизнедеятельности народов, исследования флоры и фауны, сбор медицинских сведений [Инструкция, 210]. Для реализации плана осуществления экспедиции было организовано пять академических отрядов под руководством ученых-академиков, которые исследовали южные районы государства (Астраханские отряды, руководством которыми осуществляли С.Г. Гмелин и И.А. Гюльденштедт) и территории Урала и Сибири (руководителями Оренбургских отрядов были назначены П.С. Паллас, И.И. Лепехин, И.П. Фальк), деятельность последних и стала объектом нашего анализа. Обязательным условием исследовательской практики ученых было ведение путевых записок, в которых ученые должны были описывать ход экспедиции и объекты исследования. В статье речь идет об изучении функционирования лексических номинаций промышленных объектов и оборудования (объект исследования: промышленные тепловые устройства, печи и горны, далее – ПТУ) уральских медеплавильных и железоделательных заводов, расположенных на территории Среднего и Южного Урала, по территории которых проходили маршруты экспедиционных отрядов.

Основным вопросом был вопрос влияния на функционирование лексических номинаций и их территориальное распространение географического и геологического факторов, для чего был применен факторный анализ. Применение факторного анализа было связано с определением параметров и их переводом в количественные измеримые факторы с целью анализа, оценки, выявления и объяснения причин их влияния на выделенные параметры. Процедура осуществления факторного анализа включает в себя несколько этапов, в статье были использованы два этапа факторного анализа: отбор факторов на основе источника материала, путевых записок; классификация отобранного материала и его систематизация с последующим первичным количественным анализом. Основными факторами были географический и геологический факторы. Гипотезой стало выяснение зависимости функционирования номинаций ПТУ от факторов географического размещения заводов и близости/дальности размещения рудников.

Работа включала в себя несколько этапов. На первом этапе проводилась работа с источником материала – путевыми записками, из которых были выделены контексты описания уральских заводов и лексические номинации объектов (например, из контекста описания Кыштымского завода

И.И. Лепехиным: «На нем 1 доменная с 2 *домнами*; три молотовые фабрики, дляковки железа с 12 молотами, из которых 9 почитается действительными и 3 запасных» [Лепехин, 178], из которого мы выделили номинацию *домна*). Так как основными заводами на Урале были медеплавильные и железоделательные заводы (далее – МПЗ и ЖДЗ), то номинации оборудования заводов распределялись по отношению к производству меди (МПЗ) или железа (ЖДЗ). В приведенном выше примере описания Кыштымского завода речь шла о номинации *домна*, которая относилась к железоделательному производству.

На втором этапе были определены географические параметры распространения номинаций ПТУ: территория Среднего и Южного Урала, по которым проходил основной маршрут экспедиционных отрядов. Вторым фактором стал геологический фактор, связанный тем, что определенные номинации могли функционировать в зависимости от дальности или близости заводов к рудникам.

На третьем этапе была осуществлена классификация факторов и анализ полученных результатов. Так, для анализа географического фактора были проведены расчеты, которые были представлены в виде количественных показателей. Как видно из таблицы 1, в количественном отношении больше всего номинаций печей было характерно для медеплавильных заводов (373 для МПЗ и 101 для ЖДЗ), что могло быть связано с особенностями и технологией производства меди: в медеплавильном производстве в основном использовались печи для определенных производственных операций, в отличие от железоделательных заводов, где основной печью была *домна*, и как видно из приведенных ниже данных, номинации железоделательных печей использовались в лексике в меньшей степени. Использование номинаций горнов в большей степени характеризует железоделательное производство, в меньшей – медеплавильное производство, что связано с большим количеством операций для производства чугуна, железа и уклада (сталь). Всего железоделательных горнов – 281 номинация, медеплавильных горнов – 105 номинаций. Если анализировать в общем, то для заводов Среднего и Южного Урала использование номинации *печь* в лексике для МПЗ больше, чем для ЖДЗ (в процентном выражении: 80% против 28% на Среднем Урале и 75% против 24% на Южном Урале); для номинации *горн* на Среднем Урале наблюдается незначительная разница в функционировании лексической единицы (75% для МПЗ и 72% для ЖДЗ); на Южном Урале горны использовались в меньшей степени (всего 25%), в отличие от ЖДЗ, 76%, что могло быть связано с активным использованием горнов для многочисленных операций по обжигу,

расковке, переработке чугуна и производства железа и наличия горнов для уклада (стали), что могло бы связано с качеством руды.

Таблица 1 – Количественное и процентное соотношение номинаций промышленных тепловых устройств

Территория	МПЗ				ЖДЗ			
	печь	%	горн	%	печь	%	горн	%
Средний Урал	241	80%	60	75%	74	28 %	195	72%
Южный Урал	132	75%	45	25%	27	24 %	86	76%

Геологический фактор оказывал влияние на функционирование номинаций в зависимости близости или дальности расположения медных и железных рудников по отношению к заводам. Для медеплавильных заводов были отмечены следующие особенности: на Среднем Урале медные рудники были расположены вблизи заводов, например, Полевской завод был расположен в 3-4 верстах от Гумешковского рудника. На данных заводах было отмечено использование иноязычной заимствованной лексики (например, в описании Полевского завода Палласом и Лепехиным: «Главныя строения завода суть медиплавильни, то есть: большая, в которой девять плавильных печей, *шплейс-офен* или как русские говорят лисафе для разбивки чугуна» [Паллас, 188], «В оной же фабрике один горн кричной, один *гармахерской* и *сплейсофен*» [Лепехин, 272]). Функционирование заимствованной лексики было связано с влиянием иностранных специалистов, которые участвовали в строительстве заводов и способствовали называнию и сохранению номинаций металлургических печей в лексике. Номинация медеплавильной печи *шплейсофен/сплейсофен* (как транслитерированный вариант) означала плавильную печь отражательного типа для рафинирования меди [Григорьев, Мещеряков, Черноухов], которые использовались на первом этапе очистки меди.

Для медеплавильных заводов Южного Урала основными рудниками были Каргалинские рудники, которые были расположены довольно далеко от основных южно-уральских заводов (около 300 верст), что повлияло на функционирование номинаций. В записках Фалька была отмечена заимствованная номинация *крумофен*, определяемая как плавильная печь шахтного типа для получения роштейна и плавки медных руд [Григорьев, Мещеряков, Черноухов], например, в описании Вознесенского медного завода:

«В 1771 году было при нем 7 *крумофенов* и 3 отчищательных горнов, 1 церковь, 36 дворов и жителей 61 душа мужеского и 49 душ женского пола» [Фальк, 260]). Для номинации *горн* у Лепехина было отмечено использование иноязычных заимствованных номинаций *гармахерский* и *сплейсофенской горны*, что могло быть связано с качеством Каргалинской руды, для обработки которой могли быть использованы именно горны для конкретной операции (*гармахерской горн* использовался на конечной стадии для перечистки меди [Григорьев, Мещеряков, Черноухов]). Железные рудники могли располагаться как вдали от завода, так и вблизи, но для номинаций ПТУ железоделательных заводов не было выявлено зависимости использования номинаций от расположения завода, что могло быть связано с технологией производства железа и тем, что ряд железоделательных заводов имел возможности для размещения рядом с рудниками ПТУ для первичной обработки руды и ее обжига, подготовки к дальнейшим производственным операциям.

В результате было выявлено, что функционирование номинаций печей и горнов было связано с расположением заводов вблизи или вдали от рудников, что способствовало наибольшему распространению номинаций печей для лексики медеплавильных заводов и горнов для железоделательных заводов Урала, в том числе и использованию иноязычных заимствованных номинаций. В статье был представлен начальный этап факторного анализа для работы с лексическими номинациями, который требует следующего этапа, моделирования взаимосвязей между факторами.

Библиографический список

1. Григорьев Э.А., Мещеряков В.Н., Черноухов А.Н. Екатеринбургский монетный двор. История. Каталог. Документы [Электронный ресурс]. – 2010// <http://coins-rus.ru/spravochniki/glossarij/C>
2. Лепехин И.И. Продолжение Дневных записок путешествия академика и медицины доктора Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства в 1770 году. Т.2. – СПб, при Императорской Академии наук, 1772. – 353 с.
3. Паллас П.С. Путешествие по разным местам Российской империи. Физическое путешествие по разным провинциям Российской империи, бывшее в 1770 году. – СПб.: при Императорской Академии наук, 1786. – Ч. 1. Кн. 1. – 476 с.
4. Фальк И.П. Записки путешествия академика Фалька. Ч. 1. // Полное собрание ученых путешествий по России, издаваемое Императорскою

Академиею наук, по предложению ея Президента. – СПб.: при Императорской Академии наук, 1824. – 560 с.

5. Инструкция для отправленных от имп. Академии наук в Россию физических экспедиций// В кн.: Фрадкин Н.Г. Академик И.И. Лепехин и его путешествия по России в 1768-1773 гг. М.: Геграфгиз, 1950. – 214 с.

IMPACT OF GEOGRAPHICAL AND GEOLOGICAL FACTORS ON OPERATION OF INDUSTRIAL EQUIPMENT NOMINATIONS

Mukoseeva Ya.Yu.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, ivanov@email.ru

Abstract. The article considers the geographical and geological factors that influenced the functioning of nominations of industrial equipment of metallurgical furnaces and miners in the second half of the XVIII century. Lexical nominations extracted for analysis from the source of material in travel notes of travelers of participants in academic expeditions of the second half of the 18th century. The geographical distribution of nominations influenced by the functioning of nominations depending on the geographical location of plants, on production operations and the quality of ore. The dependence of the geological factor of the distribution of nominations was associated with the factor of proximity or range of plants from mines, which contributed to the functioning of certain lexical nominations.

Keywords: traveling notes, historical source, lexicon of the industrial equipment, geographical and geological factors, furnace, mountain

АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОТЗЫВОВ ПАЦИЕНТОВ О ПОБОЧНЫХ ЭФФЕКТАХ ЛЕКАРСТВ

Плохова Анастасия Юрьевна, Бидуля Юлия Владимировна

Тюменский государственный университет, 625003, Россия, г. Тюмень,
ул. Перекопская, 15А, 3757640@mail.ru

Работа посвящена задаче автоматического анализа текста с целью выявления побочных реакций на лекарства, выявленные на основании отзывов пользователей в социальных сетях. Описан инструмент ADRMine, использующий метод машинного обучения с учителем для выделения именованных сущностей и фрагментов с описанием побочных эффектов. В статье предложен подход для улучшения результатов работы инструмента за счет внедрения дополнительных признаков текста, связанных с выражением тональности отзыва: содержание в токенах прописных и повторяющихся букв, знаков препинания, степень тональности, определяемой из соответствующего лексикона, учет тональностей слов контекста, принадлежность тематическому кластеру. В результате повышается число найденных фрагментов с описанием побочных эффектов, экспериментально показано увеличение эффективности на 6,1%, оценка по критерию меры F1. При этом семантические и тональные признаки оказывают наибольшее влияние.

Ключевые слова: автоматический анализ текста, анализ тональности, социальные сети, Adverse Drug Reactions, машинное обучение, Conditional Random Fields.

Нежелательные лекарственные реакции (ADR – Adverse Drug Reactions) являются серьезной проблемой общественного здравоохранения [1]. Со стороны государства за послепродажный мониторинг побочных эффектов лекарств отвечают системы спонтанной отчетности [2]. Для увеличения эффективности мониторинга кроме официальных источников используются и данные, доступные на сайтах социальных сетей, таких как Twitter [3,4]. Особый интерес представляют сообщения пациентов об опыте приема лекарственных средств с описанием побочных эффектов, из которых можно извлекать полезную информацию, применяя методы и инструменты интеллектуального анализа текста. Примером такого инструмента служит пакет ADRMine с открытым исходным кодом, использующий метод распознавания именованных сущностей, обученный на сообщениях пользователей в социальных сетях и

включающий обширную базу медицинских терминов [4]. В своей основе он имеет классификатор условного случайного поля (Conditional Random Fields), реализующий метод машинного обучения с учителем, и применяющийся для решения задач разметки и сегментации последовательностей токенов. На вход пакета ADRMine подается набор сообщений, на выходе для каждого сообщения определяется название лекарственного средства и описание побочного эффекта. Каждый токен маркируется соответствующей меткой класса.

Изучение публикаций по теме исследования показало, что для извлечения ADR исследователи привлекают методы анализа тональности мнений (sentiment analysis) ввиду того, что при описании побочных эффектов пользователи склонны выражать негативные чувства [3].

Целью данной работы является дополнение функционала пакета ADRMine методами анализа тональности и оценка эффективности извлечения ADR при помощи улучшенного инструмента. В качестве датасета используется размеченный корпус 2897 сообщений Twitter, выбранных по 81 препарату, аннотированных двумя экспертами независимо друг от друга [5]. Для идентификации ADR использовался лексикон, разработанный кафедрой биомедицинской информатики Аризонского Государственного университета [4]. Лексикон содержит более 13591 фраз с 7432 уникальными идентификаторами UMLS (Unified Medical Language System).

Для описания каждого объекта в задаче классификации необходимо определить набор признаков, характеризующих каждый токен в сообщении. Базовые признаки использовались следующие:

- Context: признак контекста: текущий токен ± 3 в предложении.
- ADRLexica: бинарная функция, показывающая, существует ли текущий токен в лексиконе ADR.
- POS: часть речи токена.
- Negation: признак, указывающий наличие отрицательной частицы (not, no и т.п.) перед токеном.

На основе материалов семинаров SemEval, посвященных анализу тональности мнений, был сформирован дополнительный набор признаков [6]:

- isAllCaps: токен состоит из прописных букв.
- isPunctuation: токен состоит из вопросительных и/или восклицательных знаков.
- isElongated: токен содержит повторяющуюся букву, например, sooo.
- Sentiment: степень позитивности/негативности токена, полученная из лексикона тональных слов.

- N-grams: сумма степеней тональности униграмм и биграмм, в которых участвует текущий токен.

- Clusters: метка кластера, полученного методом K средних на основании семантического сходства токенов [7].

Для расчета степени тональности токенов были использованы пять популярных словарей: the Hu&Liu Lexicon of Opinion Words (H&L), the Subjectivity Lexicon (SL), the NRC Word-Emotion Association Lexicon (NRC), the NRC Hashtag Sentiment Lexicon (NRC#), и the Sentiment 140 Lexicon (S140) [6].

Для того чтобы оценить эффективность системы ADRMine, обогащенной модулем анализа тональности, относительно базовой системы, мы предварительно обучили обе системы на обучающем корпусе из 2172 твитов (75% датасета) и протестировали на выборке из 725 твитов (25%). В качестве критериев использовались точность (Precision), полнота (Recall) и мера F1.

Дополнительный набор признаков был объединен в группы для дальнейшего анализа вклада каждой группы в эффективность извлечения ADR (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Группы признаков.

Группа признаков	Включенные признаки
Clusters	Clusters
ShallowParse	isAllCaps, isPunctuation, isElongated
Lexica	Sentiment, N-grams

В таблице 2 представлены промежуточные результаты обучения тестовой выборки с добавлением к базовому набору признаков одной группы тональных признаков. Матрица ошибок включает числа истинно-положительных TP (true positive), ложноположительных FP (false positive), ложноотрицательных FN (false negative), истинно-отрицательных TN (true negative) результатов. Результаты экспериментов с добавлением каждой группы признаков по отдельности к базовой системе ADRMine показали, что влияние признаков ShallowParse ухудшает показатели системы. Поэтому был проведен дополнительный эксперимент, в котором к базовой системе были добавлены не все реализованные в работе группы признаков, а только Clusters и Lexica.

Таблица 2 – Матрица ошибок эксперимента.

Система	TP	FP	FN	TN	P	R	F1
ADRMine	328	97	143	158	0,771	0,698	0,732
ADRMine + Clusters	340	101	<i>130</i>	154	0,771	0,724	0,746
ADRMine + ShallowParse	298	93	<i>173</i>	161	0,761	0,632	0,690
ADRMine + Lexica	340	107	<i>130</i>	148	0,760	0,724	0,741
ADRMine + Все группы	339	97	<i>131</i>	158	0,778	0,721	0,748
ADRMine + Clusters + Lexica	354	68	<i>116</i>	187	0,839	0,752	0,793

Согласно таблице 2, добавление тональных признаков приводит к уменьшению доли ложноотрицательных результатов (в таблице эти значения выделены курсивом). Это значит, что с добавлением модуля тональности увеличивается число обнаруженных твитов с ADR, которые ранее система не находила.

Результаты экспериментов, представленные в таблице 2, показывают, что набор признаков, содержащий группы признаков Clusters и Lexica, оказывает положительное влияние на производительность ADRMine для корпуса Twitter: точность увеличилась на 6,8%, полнота – на 5,4%, F-мера – на 6,1%.

Разработанный модуль позволяет повысить эффективность извлечения упоминаний нежелательных побочных эффектов лекарств из сообщений пользователей в социальной Twitter, и позволит находить новые побочные эффекты лекарств при послепродажном контроле.

Библиографический список

1. *Pirmohamed M., James S., Meakin S., Green C., Scott A.K., Walley T.J., Farrar K., Park B.K., Breckenridge A.M.* Adverse drug reactions as cause of admission to hospital: prospective analysis of 18 820 patients. *BMJ*. 2004;329(7456): pp. 15–19
2. *Олейник О.Э., Шонабаева А.Р., Евтушенко Е.Н., Софронова И.В.* Анализ систем мониторинга побочных реакций в разных странах мира // Вестник КазНМУ. 2015. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-sistem-monitoringa-pobochnyh-reaktsiy-v-raznyh-stranah-mira> (дата обращения: 03.05.2020).
3. *Yates A., Goharian N.* Adrtrace: detecting expected and unexpected adverse drug reactions from user reviews on social media sites. In: *Advances in Information Retrieval*. vol. 7814. Springer; Berlin Heidelberg: 2013. pp. 816–819. (Lecture Notes in Computer Science).

4. *Nikfarjam A., Sarker A., O'Connor K., Ginn R., Gonzalez G.* Pharmacovigilance from social media: mining adverse drug reaction mentions using sequence labeling with word embedding cluster features. *J. Am. Med Inform. Assoc.* 2015
5. *Alvaro N., Miyao Y., Collier N.* TwiMed: Twitter and PubMed comparable corpus of drugs, diseases, symptoms, and their relations. *JMIR Public Health Surveill* 2017; 3(2):e24. DOI: 10.2196/publichealth.6396.
6. *Abbasi A., Chen H., Salem A.* Sentiment analysis in multiple languages: feature selection for opinion classification in web forums. *ACM Trans. Inform. Syst.* 2008;26(3):12:1–12:34.
7. *Wilson T., Wiebe J., Hoffmann P.* Proceedings of the Conference on Human Language Technology and Empirical Methods in Natural Language Processing, HLT '05. Association for Computational Linguistics; Stroudsburg, PA, USA: 2005. Recognizing contextual polarity in phrase-level sentiment analysis; pp. 347–354.

AUTOMATIC ANALYSIS OF PATIENT REVIEWS ABOUT ADVERSE DRUG REACTIONS

Plokhova Anastasia Y., Bidulya Yuliya V.

University of Tyumen, 10, Semakova st., Tyumen, 625003, Russia,
3757640@email.ru

Abstract. We reviewed ADRMine, the tool for extracting adverse drug reactions from messages on social networks. We selected the featurures to enrich ADRMine with sentiment analysis. We analyzed the results of the work of the ADRMine tool with the inclusion of different groups of features. It is shown that shallow parsing degrades the effectiveness of the tool, but the addition of the remaining groups of features increases the efficiency.

Keywords: ADR, sentiment analysis, social networks, CRF.

**МЕНЕДЖМЕНТ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В ЭКОНОМИКЕ**

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЛОЖНЫХ СРАБАТЫВАНИЙ МОДЕЛЕЙ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ

*Аксёнов Антон Андреевич, Орлова Екатерина Дмитриевна,
Файзрахманов Рустам Абубакирович*

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29,
orlova_ekaterin_97@mail.ru

В данной статье рассматриваются методы машинного обучения, применяемые для снижения количества ложных срабатываний моделей детектирования мошеннических действий на финансовом рынке. В 224-ФЗ представлены запрещённые российским законодательством биржевые операции. В ходе исследования входной датасет, содержащий в себе информацию об одной из моделей детектирования на мосбирже – кросс-сделках, был предварительно обработан пятью различными способами, чтобы определить, на каких данных модели обучатся лучше всего. Затем было применено девятнадцать методов машинного обучения, результаты оценивались по метрикам: precision, recall, f-мера и ассигасу, а также AUC. По итогам данного исследования сформированы рекомендации по использованию методов машинного обучения для уменьшения шумов при срабатывании сигналов моделей поиска манипуляций на различных секциях российского финансового рынка.

Ключевые слова: машинное обучение, финансовые рынки, манипуляция, кросс-сделки.

В Российской Федерации борьба с манипулированием цен ведётся на законодательном уровне – Федеральный закон от 27.07.2010 № 224-ФЗ «О противодействии неправомерному использованию инсайдерской информации и манипулированию рынком и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1], в нём представлены запрещённые финансовые операции. В докладе Центробанка (ЦБ) [2] было предложено, для повышения эффективности регулирования и надзора на финансовом рынке, использовать новые технологии, а именно методы машинного обучения. Для исследования были предоставлены данные, которые содержали в себе информацию о сделках на финансовом рынке Московской биржи за последние 2 года. Все сделки (срабатывания моделей) изначально

были классифицированы вручную на хорошие (срабатывание модели детектирования кросс-сделки) и шумовые.

В ходе анализа литературы по данному вопросу были выявлены основные методы машинного обучения, которые могут быть использованы для целей данной работы [3,4,5,6]. В качестве средства решения задачи был выбран язык программирования python. Для решения задачи снижения «шумов» при ложных срабатываниях моделей детектирования были выбраны методы машинного обучения, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Обозначение используемых методов машинного обучения

Обозначение метода	Название метода
DecisionTreeClassifier	Дерево решений
DecisionTreeClassifier_GridSearchCV	Дерево решений с подобранными оптимальными параметрами с помощью кросс-валидации gridsearchcv
KNeighborsClassifier	К-ближайших соседей
SVC_rbf	Метод опорных векторов с радиальным ядром
SVC_linear	Метод опорных векторов с линейным ядром
Random_Forest	Случайный лес
Random_Forest_GridSearchCV	Случайный лес с подобранными оптимальными параметрами с помощью кросс-валидации gridsearchcv
Random_Forest_RandomizedSearchCV	Случайный лес с подобранными оптимальными параметрами с помощью кросс-валидации randomizedsearchcv
Gradient_Boosting	Градиентный бустинг
Gradient_Boosting_GridSearchCV	Градиентный бустинг с подобранными оптимальными параметрами с помощью кросс-валидации gridsearchcv
logreg_clf	Логистическая регрессия
Perceptron	Перцептрон
MLPClassifier	Многослойный перцептрон
RNN	Рекуррентная нейронная сеть

Обозначение метода	Название метода
VotingClassifier (RandomForestClassifier, DecisionTreeClassifier, SVC)	Голосующий ансамбль. В скобках перечислены входящие в него методы.
VotingClassifier (RandomForestClassifier, DecisionTreeClassifier, GradientBoostingClassifier, SVC)	Голосующий ансамбль. В скобках перечислены входящие в него методы.
AdaBoostClassifier	Алгоритмом адаптивного бустинга
ExtraTreesClassifier	Метод ансамблевого обучения, в основе которого лежат деревья решений
StackingClassifier	Стекинг

Полученный датасет был предварительно обработан следующими способами:

1. Способ обработки данных (X1)

В ходе подготовки данных при исследовании признаков были удалены все рейтинги, так как они являются линейными комбинациями других признаков. Также было выяснено, что часть признаков имеет нулевую вариацию, таким образом целесообразно их удалить из нашего датасета. Признаки, характеризующие время первой и последней подозрительной сделки, были заменены на разницу между ними в секундах. Также были удалены признаки, в которых содержалась информация о наименованиях инструментов и их режимов торгов, т. к. они не оказывают особого влияния на качество сигнала. Признаки, корреляция которых более 0,70, с помощью методов главных компонент были заменены на один (РСА).

2. Способ – датафрейм с нормированными переменными (X1_N).

Также, как и в первом случае, были удалены все рейтинги и переменные с нулевой вариацией. Был исключён шаг с применением метода главных компонент. Все переменные в представленном датасете были ортонормированы по следующей формуле:

$$X_i = \frac{x_i - \bar{x}}{St.dev(x)} \quad (1)$$

Где \bar{x} – среднее значение переменных, $St.dev(x)$ – среднеквадратичное (стандартное) отклонение значений.

3. Способ – использование датафрейма с нормированными переменными по формуле (1) и удалёнными скоррелированными (X1_N_COR).

4. Способ – нормирование переменных по формуле (1) и использование метода главных компонент (X1_N_PCA).

5. Способ – использование датафрейма с нормированными переменными по формуле (1) и с рейтингами (X1_N_WITH_RATINGS).

Итоговые лучшие результаты по пяти различным параметрам указаны в таблице ниже, в скобках указана модель, которая показала наилучшую статистику.

Таблица 2 – Результаты использования методов машинного обучения

	Recall	Precision	F	Accuracy	AUC
X1	0.895 (Gradient_Boosting_GridSearchCV)	0.925 (RNN)	0.612 (Random_Forest_RandomizedSearchCV)	0.981 (Random_Forest_GridSearchCV)	0.95 (Random_Forest)
X1_N	0.857 (Gradient_Boosting_GridSearchCV)	1 (Perceptron)	0.653 (VotingClassifier(RandomForestClassifier, DecisionTreeClassifier, SVC))	0.983 (VotingClassifier(RandomForestClassifier, DecisionTreeClassifier, GradientBoostingClassifier, SVC))	0.785605 (Random_Forest)
X1_N_COR	0.857 (ExtraTreesClassifier)	1 (Perceptron)	0.639 (VotingClassifier(RandomForestClassifier, DecisionTreeClassifier, GradientBoostingClassifier, SVC))	0.981 (VotingClassifier(RandomForestClassifier, DecisionTreeClassifier, GradientBoostingClassifier, SVC))	0.753962 (Random_Forest)
X1_N_PCA	0.9 (Gradient_Boosting_GridSearchCV)	1 (Perceptron)	0.625 (Random_Forest_RandomizedSearchCV)	0.981 (Random_Forest_RandomizedSearchCV)	0.774967 (Random_Forest)
X1_N_WITH_RATINGS	0.828 (Random_Forest_RandomizedSearchCV)	0.83 (Gradient_Boosting)	0.634 (Random_Forest_RandomizedSearchCV)	0.982 (Random_Forest_GridSearchCV)	0.785334 (Random_Forest)

Из представленных результатов видно, что благодаря нормированию переменных удалось повысить качество некоторых моделей. Однако матрица ошибок в данном случае неприменима из-за сильного разброса между двумя группами в исходной выборке. Для верификации корректности работы модели и сравнения качества моделей между собой используется метрика, оценивающая площадь по ROC-кривой. Согласно полученным результатам, наиболее стабильными являются модели, построенные на основании алгоритма Random Forest. Они показывают относительно близкий результат на тренировочной и тестовой выборке для всех датафреймов.

Библиографический список

1. Федеральный закон от 27.07.2010 N 224-ФЗ (ред. от 01.04.2020) «О противодействии неправомерному использованию инсайдерской информации и манипулированию рынком и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Электронный ресурс] URL – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_103037/f7ff18209caf8927a5ebf06a12838837b333c5f3/
2. Вопросы и направления развития регуляторных и надзорных технологий (RegTech и SupTech) на финансовом рынке в России. [сайт] – URL: https://www.cbr.ru/Content/Document/File/50667/Consultation_Paper_181016.pdf (Дата обращения: 20.03.2020).
3. *Diaz D., Theodoulidis B., Sampaio P.* Analysis of stock market manipulations using knowledge discovery techniques applied to intraday trade prices // *Expert Systems with Applications.* – 2011. – № 10 (38). – С. 12757–12771.
4. *Li A., Wu J., Liu Z.* Market Manipulation Detection Based on Classification Methods // *Procedia Computer Science.* – 2017. – №122. – С. 788–795.
5. *Öğüt H., Mete Doğanay M., Aktaş R.* Detecting stock-price manipulation in an emerging market: The case of Turkey // *Expert Systems with Applications.* – 2009. – № 9 (36). – С. 11944–11949.
6. *Sun X.-Q., Shen H.-W., Cheng X.-Q., и др.* Detecting anomalous traders using multi-slice network analysis // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications.* – 2017. – №473. – С. 1–9.

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS TO REDUCE DETECTION MODELS FALSE POSITIVES

Aksenov Anton A., Orlova Ekaterina D., Faizrakhmanov Rustam A.

State National Research Politechnical University of Perm, Komsomolsky Av. 29,
Perm, Russia, 614990, orlova_ekaterina_97@mail.ru

Abstract. This article discusses machine learning methods that used to reduce the number of fraud detection models false positives in the financial market. The Federal Law No 224-FZ of the Russian Federation contains exchange operations prohibited by Russian law. In the course of the study, an input dataset containing information about one of the MOEX detection models cross-deals was pre-processed in five different ways to determine which data the models would learn best from. Then nineteen machine learning methods were applied, and the results were evaluated using four metrics: precision, recall, f-measure, and accuracy. Based on the results of this study, recommendations are made about using machine learning methods to reduce noise when signals are triggered by manipulation models in various sections of the Russian financial market

Keywords: machine learning, financial markets, manipulation, cross-deals.

КВАЛИМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО ФАКТОРОВ АУДИТОРИИ МАЛЫХ ОБЪЕКТОВ КОММЕРЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Андропова Александра Андреевна

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, for-s.a@yandex.ru

Рассматривается задача приведения, создания и классификации множеств нечетких характеристик к измеримой числовой форме при помощи квалиметрического пространства. Через цифровые значения описано понятие Аудитория: в рамках математического моделирования вероятности покупки согласно модифицированной модели Хаффа. Для оценки категории Аудитория приняты такие характеристики как: ментальное и физическое здоровье, социальные связи, наличие свободного времени. В каждой шкале приведены лингвистические переменные, с числовыми значениями. Поиск значений сворачиваемых критериев – есть задача оптимального управления малыми объектами коммерческого назначения (МОНК). Система графиков шкал визуализирована и представлена в виде рисунка. Данная статья предназначена для специалистов в сфере ритейла и оценки коммерческой недвижимости. Созданная система оценки позволяет описать 27 различных вариаций значений категории Аудитория.

Ключевые слова: малые объекты недвижимости коммерческого назначения, моделирование посещаемости, потребительская привлекательность, целевая аудитория, квалиметрическое пространство, описательные шкалы, лингвистические переменные

Потребительская привлекательность коммерческой недвижимости традиционно оценивается с помощью модели Хаффа, получившей широкую известность и популярность в геомаркетинге. Двухфакторная модель Хаффа была обобщена в работе [1], где оценку потребительской привлекательности коммерческой недвижимости предлагалось определять согласно (1):

$$A_{ij} = \frac{Q_j}{T_{ij}^{\lambda_k}}, \quad (1)$$

где A_{ij} – привлекательность объекта j для покупателя i ; Q_j – качество j -го объекта коммерческой недвижимости; T_{ij} – время, потраченное покупателем i на путь до объекта j , λ_k – параметр, описывающий влияние времени

корреспонденции из k -го сектора до объекта j на воспринимаемые потребителем временные затраты.

Q является функцией многих переменных, следовательно, выражение (1) является частным случаем оригинальной модели Хаффа. На основании этого в данной работе будет применяться подход, основанный на модифицированной модели Хаффа.

В статье [2] предоставлена классификация задач выбора оптимального месторасположения малых объектов коммерческого назначения (МОНК). Существующими методами математического моделирования можно решить задачи класса М (в каком Месте открыть МОНК?) и МК (в каком Месте и какого Качества отрыть МОНК?). Для решения задач типа МКА (определения Места, Качества и Аудитории для МОНК) разработана система критериев для свертки параметров и возможности предоставления категории Аудитория в количественной форме.

Параметр аудитория рассматривается, как набор характеристик: ментальное и физическое здоровье, социальные связи и наличие свободного времени. Каждая из характеристик в свою очередь делится на шкалу.

Таблица 1 – Числовое выражение значений шкал по осям параметра Аудитория

№ п\п	Ось	Шкалы
1.	Ментальное и физическое здоровье	(1) здоров
		(2) есть физические отклонения
		(3) есть ментальные отклонения
2.	Социальные связи	(1) есть соц. Связи с транспортом
		(2) есть соц.связи
		(3) нет соц.связей
3.	Свободное время	(1) 6 часов
		(2) 3 часа
		(3) 1 час

Для решения задачи типа МКА необходимо обратиться к параметру времени корреспонденции (T). Именно его изменение, позволяет охарактеризовать как самого человека, так и его потребности. Аудиторию опишем через три фактора: ментальное и физическое здоровье, социальные связи, наличие свободного времени. Свертка суммы баллов по шкалам – есть параметр, который выразим как коэффициент λ_K (в данном исследовании применительно к МОНК λ_K носит иной смысл: параметр, описывающий влияние времени корреспонденции для различных типов аудиторий), применяемый к T . Данный коэффициент имеет обратную зависимость Q : т.е чем больше T , тем меньше Q .

Уточним, как разделены лингвистические категории и шкалы. Ментальное и физическое здоровье – человек здоров, способен самостоятельно принимать решения (ментальное здоровье), а также осуществлять их (физическое). К категории «здоров» стоит отнести людей в возрасте от 14 (потому что законодательно с этого возраста человек может совершать покупки) до 65 (потому что после этого возраста часто начинаются сильные проблемы физического здоровья (невозможность ходить на большие расстояния, поднимать тяжести, пользоваться новыми форматами представления продуктов и услуг). К категории «физические отклонения» стоит отнести маломобильные группы (инвалиды -нет физической возможности попасть в МШД, мамы с детьми до года – аналогично).

Шкала социальные связи – если потребитель молод, здоров и имеет доход, то он сам ходит в магазин, заказывает услуги и т.п. Но если постоянного дохода не имеется (до 23 – возраст до которого платят пособие по потере кормильца), то в МОНК ходит кто-то другой (социальные связи). Если покупатель имеет родственников старшего возраста (бабушки и дедушки), то в аптеку и магазин скорее всего для них идет кто-то другой, т.е не именно «принятие решения о покупке» ложится на плечи посредника в лице родственников.

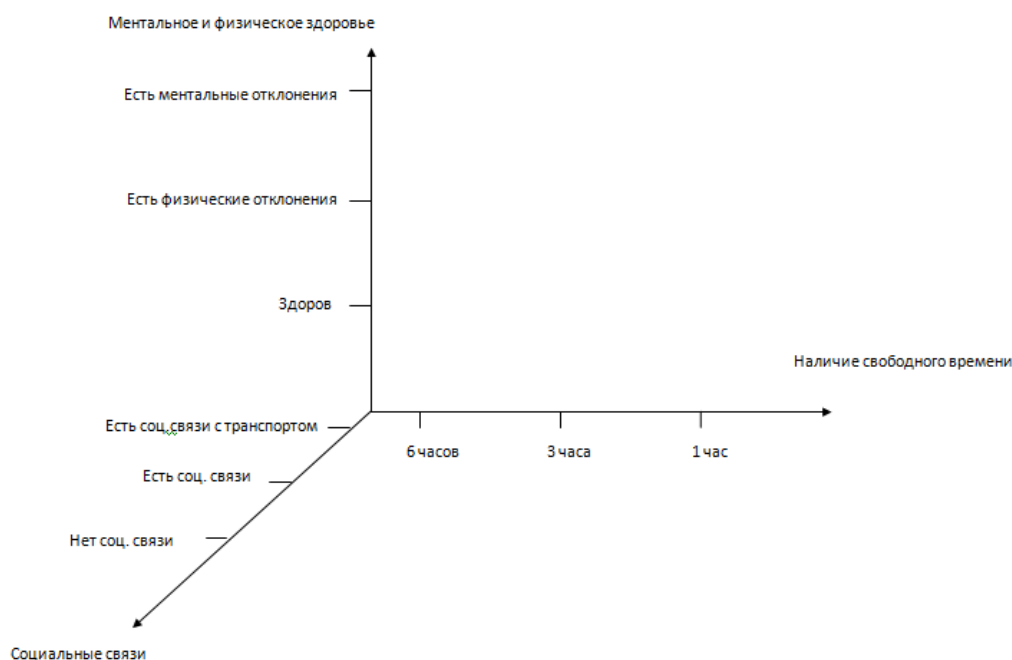


Рисунок 1 – Квалиметрическое пространство факторов аудитории малых объектов коммерческого назначения

Наличие социальной связи с машиной – весомый фактор при определении ареала обитания, увеличивая его на несколько км в радиусе.

Наличие свободного времени – современная интерпретация социального статуса (семейное положение, наличие детей, наличие хобби, наличие

обязанностей, учеба и т.п). Изменяется и время, которое потребитель готов потратить на путь до того или иного места. У подростков много свободного времени, поэтому ареал их перемещения может достигать по времени до 3 часов, а вот для пожилого человека до 30, при этом и скорость их передвижения будет отличаться. При этом для работающего покупателя время корреспонденции от дома до магазина вообще учитывать не целесообразно, т.к. скорее всего пункт посещения МОНК будет не конечной точкой, а проходной между маршрутом дом-работа – дом.

Поведение потребителей является сложной «непредсказуемой» многофакторной характеристикой, в силу множества факторов. Приведенная система описывает большую часть сегмента потребителей, но не охватывает его полностью, поэтому разработка и апробирование предложенной системы классификаций ляжет в основу будущих статей.

Библиографический список

1. *Алексеев А.О., Спирина В.С., Коргин Н.А.* Технология управления объектом коммерческой недвижимости с учетом потребительских предпочтений // Управление большими системами – 2016. – № 62. – С.124-168.
2. *Алексеев А.О., Клейменова А.А., Спирина В.С.*, Постановка задач выбора мест для открытия магазина формата шаговой доступности // Прикладная математика и вопросы управления. – 2017. – №1. – С. 47–60.

QUALIMETRIC SPACE OF AUDIENCE FACTORS FOR SMALL COMMERCIAL OBJECTS

Andronova A.A.

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614000, for-c.a@yandex.ru

The problem of reducing, creating, and classifying sets of fuzzy characteristics to a measurable numerical form using a qualimetric space is considered. The concept of Audience is described using digital values: in the framework of mathematical modeling of the purchase probability according to the modified Huff model. To evaluate the Audience category, the following characteristics are accepted: mental and physical health, social connections, and availability of free time. Search for the values of collapsible criteria-there is a problem of optimal management of small commercial objects (MONK). The system of scale graphs is visualized and presented as a drawing.

Keywords: small objects of commercial real estate, traffic simulation, consumer appeal, qualimetric space, linguistic variable, descriptive scales.

ВЛИЯНИЕ «ДЛИНЫ» ПАМЯТИ НА ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИ ARFIMA

Гарафутдинов Роберт Викторович

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, rvgarafutdinov@gmail.com

В работе рассмотрена модель временных рядов с длинной памятью ARFIMA и проанализировано влияние одного из ее параметров – «длины» памяти, равной количеству лагов, учитываемому при взятии дробных разностей исходного ряда, – на среднюю величину ошибки прогноза модели. Также исследовано влияние «длины» памяти на время выполнения алгоритма дробного дифференцирования. Эксперименты проводились на модельной реализации процесса с длинной памятью – фрактального броуновского движения. Результаты: наименьшая величина ошибки прогноза ARFIMA получена при наименьшей проверяемой «длине» памяти – 20; при увеличении «длины» вычислительная трудоемкость алгоритма оценивания модели резко возрастает, при этом практических преимуществ от этого не выявлено. Развитием данного исследования является проверка обнаруженных закономерностей на реальных данных.

Ключевые слова: временные ряды с длинной памятью, ARFIMA, фрактальное броуновское движение, показатель Херста, метод ДФА.

Одним из методов моделирования и прогнозирования временных рядов, учитывающих их фрактальные свойства, является статистическая модель с длинной памятью ARFIMA – расширение широко применяющейся модели ARIMA, допускающее дробное значение порядка интегрированности ряда d . Существуют исследования, подтверждающие большую точность прогнозов моделей с длинной памятью в сравнении с ARIMA, в основном касающиеся изучения финансовых рынков [1, 2, 3] (в последней работе сравнивались модели ARFIMA-FIGARCH и ARMA-GARCH, показано преимущество моделей первого класса). В то же время корректная оценка параметров ARFIMA является задачей более сложной, чем в случае с ARIMA. К «неочевидным» параметрам модели можно отнести «длину» памяти. В существующих исследованиях на данном параметре внимание обычно не фокусируется. В этой связи актуальной является задача определения влияния «длины» памяти на точность прогноза модели. Решение этой задачи и является целью настоящего исследования.

Интегрированная модель авторегрессии – скользящего среднего ARIMA(p, d, q) имеет следующий вид [2]:

$$\Phi(L)(1-L)^d Y_t = \mu + \Theta(L)\varepsilon_t,$$

где Y_t – исследуемый временной ряд; L – оператор сдвига; $\Phi(L)$ – полином степени p от L , задающий функцию авторегрессии; $\Theta(L)$ – полином степени q от L , задающий функцию скользящего среднего; d – целочисленный порядок интегрированности ряда Y_t ; ε_t – остатки модели, соответствующие процессу белого шума; μ – константа. Дробно-интегрированная модель авторегрессии – скользящего среднего ARFIMA(p, d, q) расширяет описанную модель на случай нецелых величин параметра d . В случае $d \in (0; 0,5)$ процесс обладает длинной памятью (персистентен), т.е. его автокорреляционная функция убывает гиперболически медленно. Оператор взятия дробных разностей описывается следующей формулой [2]:

$$(1-L)^d = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\Gamma(k-d)L^k}{\Gamma(-d)\Gamma(k+1)},$$

где Γ – гамма-функция, k – лаг. Заметим, что, хотя согласно формуле, каждая разность ряда рассчитывается через бесконечную последовательность лагов, на практике, во-первых, временные ряды имеют ограниченную длину, во-вторых, использование всей предыстории ряда для вычисления каждой разности является трудоемкой задачей в разрезе использования вычислительных мощностей ЭВМ, что может существенно увеличивать затраты времени на расчеты.

Обозначим величину «длины» памяти как l_m . Эксперимент проводился на модельных данных. Для генерации искусственных рядов мы использовали компьютерную реализацию процесса фрактального броуновского движения (ФБД) *fbm.fbm()* на языке Python, т.к. модель ФБД достаточно хорошо описывает динамику финансовых рынков. Была сгенерирована 1000 рядов с длинной памятью (в качестве входного параметра функции указана величина показателя Херста $H = 0,7$) Z_i длиной 300. Каждый ряд был разделен на обучающую Z_i^{train} и тестовую Z_i^{test} выборки в соотношении 299:1. После этого запускался цикл, перебирающий значения параметра l_m в диапазоне от 20 до 100 с шагом 20. Для каждого значения l_m по ряду Z_i^{train} была обучена модель ARFIMA. Обучение модели производилось следующим образом: перебирались порядки p, q из диапазонов $[0; 2]$, для каждой комбинации строилась модель, из всех моделей отбирались прошедшие проверки на адекватность, из полученных адекватных моделей отбиралась модель с наименьшей величиной информационного критерия BIC. Проверки на адекватность состояли в следующем: 1) доля значимых на уровне 0,05 коэффициентов модели должна

быть более 0,5; 2) отсутствует автокорреляция в остатках на уровне значимости 0,05 согласно тесту Льюнга-Бокса; 3) остатки нормально распределены на уровне значимости 0,05 согласно тесту Шапиро-Уилка. Для оценки параметра d мы использовали формулу $d = H - 0,5$ [1], а для вычисления H – собственную реализацию на Python метода детрендированного флуктуационного анализа [4]. Выбранная модель использовалась для прогнозирования на 1 шаг вперед. Для оценки точности прогноза использовалась метрика «средняя абсолютная ошибка» MAE:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |z_t^* - z_t^{test}|,$$

где z_t^* – прогнозное значение ряда, z_t^{test} – истинное значение ряда, n – длина тестовой выборки (в нашем случае $n = 1$). В результате всех описанных манипуляций был получен 21 ряд длиной 1000, состоящий из ошибок MAE, каждый из которых соответствует различным значениям l_m . По каждому ряду было вычислено среднее значение ошибки.

Проанализируем зависимость величины ошибки прогноза от «длины» памяти модели. Формулу оператора взятия дробных разностей можно представить следующим образом: каждый член ряда разностей вычисляется как

$$y_t^d = \sum_{k=1}^{l_m} -c_k y_{t-k}^d,$$

где k – лаг, c_k – коэффициент при лаге. Веса лагов являются экспоненциально убывающими. На рисунке 1 представлены графики динамики коэффициентов при лагах, соответствующие различным значениям порядка дробной интегрированности d модели ARFIMA, на рисунке 2 – график зависимости средней величины ошибки MAE от величины l_m .

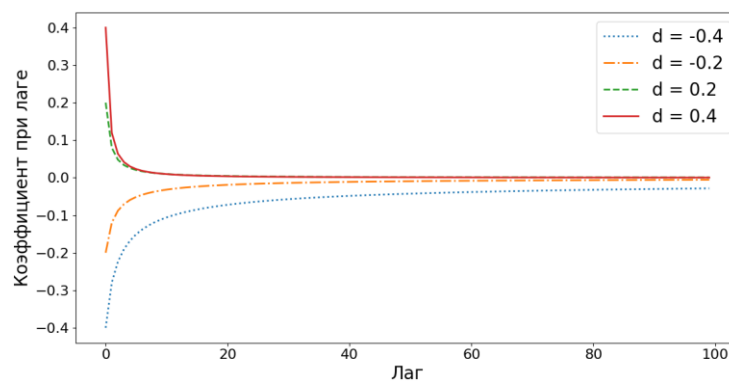


Рисунок 1 – Динамика коэффициентов при лагах при вычислении дробной разности, «длина» памяти $l_m = 100$

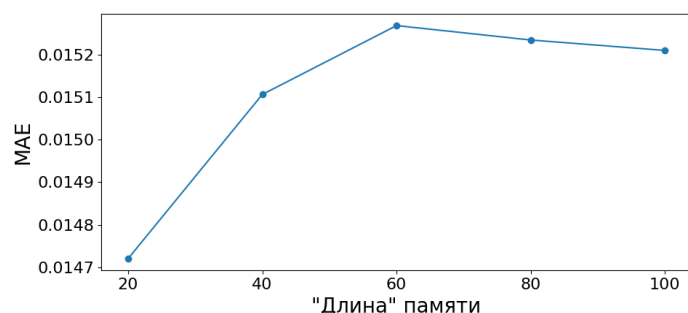


Рисунок 2 – Зависимость абсолютной ошибки прогноза ARFIMA-модели от «длины» памяти, полученная на модельных данных, $d > 0$

По рисунку 1 заметно, что для персистентных процессов ($d \in (0; 0,5)$), реализациями именно такого процесса являются сгенерированные ряды с $d = 0,2$) примерно после 20-го лага величина коэффициента начинает стремиться к нулю и, следовательно, все последующие лаги перестают вносить значимый вклад в вычисляемое значение разности y_t^d . Для антиперсистентных процессов при росте $|d|$ увеличивается значение предела лагового коэффициента, достигая ощутимо отличной от нуля величины. Можно предположить, что при отрицательных и положительных значениях параметра d разумный минимум «длины» памяти различен. По рисунку 2 видно, что величина MAE от l_m зависит незначительно (размах значений ошибки составляет десятитысячные доли), в то же время наименьшая величина ошибки получена при 20 лагах. На рис. 3 приведен график зависимости времени выполнения алгоритма дробного дифференцирования от величины l_m . Алгоритм был реализован вручную на языке Python, скрипт запускался в среде PyCharm на платформе Windows, аппаратная конфигурация ПК: CPU Intel Core i5-8400, 64GB RAM. Входным рядом для алгоритма была реализация ФБД длиной 300 с $H = 0,7$, параметр $d = 0,2$, всего производилась генерация 5000 рядов для каждого значения l_m , затем полученные данные о времени выполнения функции усреднялись.

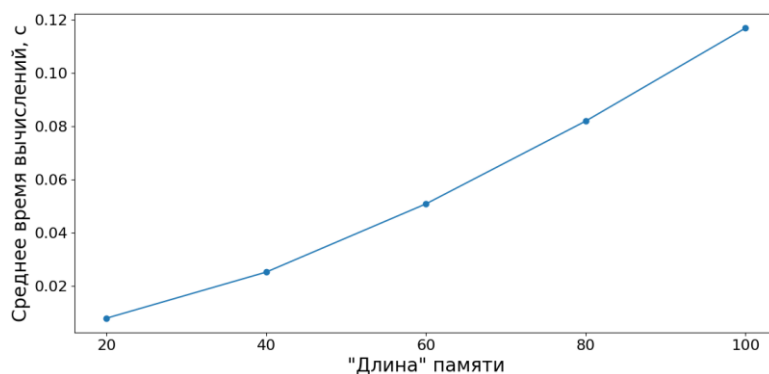


Рисунок 3 – Время выполнения алгоритма дробного дифференцирования модельного ряда при различных значениях l_m

По графику, являющемуся почти линейным, видно, что при пятикратном увеличении «длины» памяти время на вычисления возрастает на порядок. Это может быть важным фактором выбора параметра l_m при множественном обучении моделей ARFIMA на большом массиве данных (например, при использовании техники «скользящего окна»).

В результате экспериментов с применением компьютерной симуляции временных рядов с длинной памятью мы установили, что наименьшая величина ошибки прогноза ARFIMA получена при «длине» памяти ряда 20 – наименьшем из проверяемых значений. При увеличении «длины» вычислительная трудоемкость алгоритма оценивания модели резко возрастает, при этом практических преимуществ от данного действия мы не выявили. Прежде чем сформулировать рекомендации по выбору «длины» памяти при использовании соответствующих моделей, следует проверить выявленные закономерности на реальных данных, что может являться логичным развитием данного исследования.

Библиографический список

1. *Симонов П.М., Гарафутдинов Р.В.* Моделирование и прогнозирование динамики курсов финансовых инструментов с применением эконометрических моделей и фрактального анализа // Вестник Пермского университета. Серия «Экономика» = Perm University Herald. ECONOMY. 2019. Т. 14, № 2. С. 268–288. DOI: 10.17072/1994-9960-2019-2-268-288
2. *Балагула Ю.М.* Прогнозирование суточных цен на ОПЭМ РФ с помощью модели ARFIMA // Прикладная эконометрика. 2020. Т. 57. С. 89–101. DOI: 10.22394/1993-7601-2020-57-89-101
3. *Кузнецов Н.Е.* Анализ прогнозирования мировых рынков акций с помощью авторегрессионных моделей с длинной памятью // Инновации и инвестиции. 2018. № 4. С. 268–273.
4. *Гарафутдинов Р.В.* Обзор методов оценивания фрактальных характеристик финансовых временных рядов // Аналитические и численные методы моделирования естественно-научных и социальных проблем: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. Пенза: Изд-во ПГУ, 2018. С. 97–103.

THE INFLUENCE OF MEMORY LENGTH ON THE ACCURACY OF TIME SERIES PREDICTION USING THE ARFIMA MODEL

Garafutdinov Robert V.

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

Abstract. In this paper we consider the time series model with long memory ARFIMA and analyze the influence of one of its parameters ("length" of long memory, equal to the number of lags at fractional differentiation of the initial series) on the mean error value of the forecast. The influence of long memory "length" on the time of execution of the algorithm of fractional differentiation was also studied. The experiments were carried out on model implementation of the process with long memory – fractal Brownian motion. Results: the smallest value of ARFIMA forecast error was obtained with the smallest checked "length" of long memory (20); at increase of "length" the computational labor input of model estimation algorithm sharply increases, thus practical advantages from it are not revealed. The continuation of this study is to check the detected patterns on real data.

Keywords: long memory time series, ARFIMA, fractal Brownian motion, Hurst index, DFA.

ВКЛЮЧЕНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО БАЗИСНО-ИНДЕКСНОГО МЕТОДА В БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ СТОИМОСТНОГО ИНЖИНИРИНГА

Гладких Валерия Сергеевна

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29,
gladkikh.lera@yandex.ru

Ввиду разработки инновационного метода в области сметного нормирования и ценообразования в строительстве, показана модель бизнес-процессов сотрудников, занятых в стоимостном инжиниринге и применяющих в своих расчетах операционный базисно-индексный метод. Изображена схема расчета сметной стоимости с учетом использования операционного базисно-индексного метода. Описаны функциональные возможности руководителя коммерческого отдела, специалиста данного отдела и специалиста в области ценообразования и сметного нормирования. Кроме того, схема бизнес-процессов, выполненная в нотации BPMN 2.0 наглядно показывает, как важен инновационный метод в сметном ценообразовании на стадии “Проектная документация”, либо на стадии “Инвесторские сметы”. Учитывая уникальные возможности по учету современной технологии производства работ и факторов сложностей, присутствующих на сегодняшних стройках, разработанный способ сыграет важную роль в расчете себестоимости работ, в рациональном распределении времени на подачу коммерческого предложения, а также в стоимостных затратах на специфичных специалистов стоимостного инжиниринга.

Ключевые слова: операционный базисно-индексный метод, механизмы комплексного оценивания, бизнес-процессы, нотация BPMN 2.0, стоимостной инжиниринг.

На данный момент в ценообразовании строительной сферы деятельности наиболее часто используется базисно-компенсационный способ для определения сметной стоимости. Однако, данный метод не позволяют определить рыночную стоимость строительства. После анализа современных проблем в ценообразовании строительства, была выявлена необходимость в актуализации сметных затрат [1]. Учитывая все вышеизложенное, предлагается использовать инновационный операционный базисно-индексный метод в решении назревших проблем (Рисунок 1):



Рисунок 1 – Операционный базисно-индексный метод

На рисунке видно, что в традиционный процесс по осмечиванию строительных работ включаются новые подпроцессы, такие как: управление составом работ, применение новых коэффициентов, учитывающих современные факторы сложности на объектах, учет аутсорсинга крупной строительной техники, постоянных затрат, применение % строительных рисков. Предполагается, что данные подпроцессы приблизят сметную стоимость к рыночной.

Для применения данного метода была разработана модель бизнес-процессов специалистов стоимостного инжиниринга (Рисунок 2):

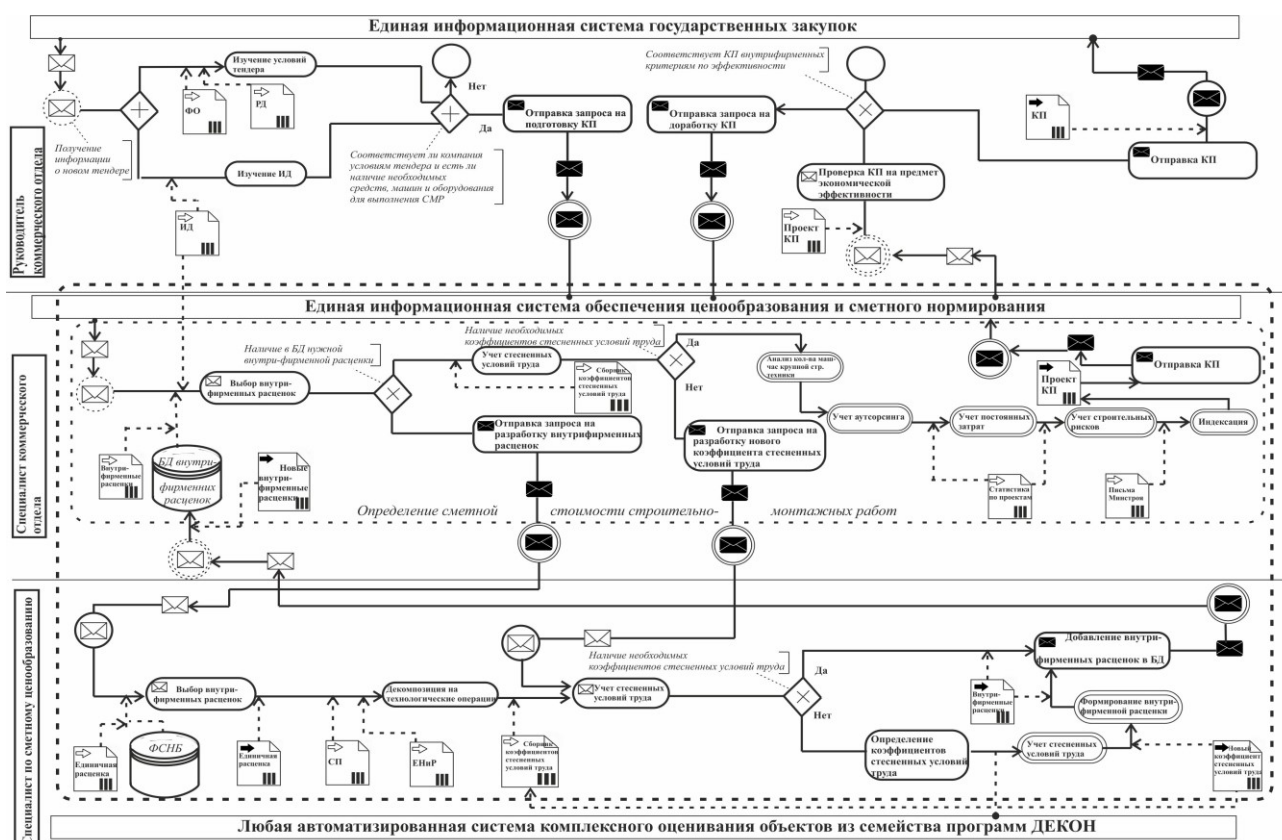


Рисунок 2 – Функциональная модель бизнес-процессов руководителя коммерческого отдела, специалиста коммерческого отдела и специалиста сметного ценообразования, выполненная в нотации BPMN 2.0

Примечание: ИД – исходные данные тендера; РД – рабочие документы (разрешения, лицензии, членство в СРО и прочее); ФО – финансовая отчетность организации; СМР – строительно-монтажные работы; стр. – строительной; КП – коммерческое предложение (техничко-коммерческое предложение); ФСНБ – федеральная сметно-нормативная база; СП – своды правил; ЕНиР – единые нормы и расценки; БД – база данных.

Из предложенной схемы видно, что руководитель коммерческого отдела, анализируя электронные площадки по размещению информации, связанной с государственными закупками, получает уведомление о размещении новой тендерной документации. После чего данные документы проходят процесс расчета себестоимости через оценку финансовых показателей компании, учет косвенных затрат. Определяется период, за который организация в состоянии выполнить данные работы и оценивается количество сотрудников, необходимых для выполнения работ, указанных в выбранной закупке. В случае, если компания по формальным признакам не соответствует требованиям закупки или не обладает необходимыми трудовыми, материальными ресурсами, а также иными, необходимыми для выполнения указанных работ, активами, то рассмотрение потенциального объекта завершается. В случае если выполняются оба условия, то руководитель направляет запрос специалисту коммерческого отдела на подготовку КП.

Специалист коммерческого отдела, получив заявку от руководителя на составление КП, выбирает в БД внутрифирменных расценок подходящую и, при условии наличия подходящих расценок и коэффициентов на стесненные условия труда проставляет к выбранным элементам (расценки с коэффициентами на стесненные условия труда) коэффициент аутсорсинга строительной техники, проценты постоянных затрат и строительных рисков. Далее, умножает базовую стоимость внутрифирменных расценок на индекс изменения сметной стоимости, для перевода уровня цен в текущий и отправляет результат своего расчета на рассмотрение руководителю. Руководитель же оценивает сметный расчет по принципу экономической эффективности для компании и соответствия начальной (максимальной) цене контракта (далее – НМЦК) по условиям тендера. Руководитель, при положительном исходе события, утверждает КП и, как следствие, согласовывает подачу заявки на участие в тендере, либо отправляет проект КП на доработку. В случае превышения стоимости, поданного от специалиста коммерческого отдела, сметного расчета даже после доработки, руководитель принимает решение, что себестоимость работ гораздо выше предложенной

Заказчиком НМЦК, после чего руководитель завершает работу над подготовкой КП по данной закупке.

Специалист коммерческого отдела, в случае отсутствия в БД подходящих внутрифирменных расценок, отправляет задание сметчику на разработку новых(-ой) внутрифирменных расценок. Специалист сметного отдела, используя ЕНиР, производит декомпозицию единичных расценок, выбранных из действующей на данный момент ФСНБ, на технологические операции в результате чего определяется новый состав работ единичных расценок, а также трудоемкость их выполнения. Далее в конце сметного расчета, либо применяет готовые коэффициенты на стесненные условия труда при их актуальности, либо разрабатывает их самостоятельно с помощью любого программного продукта семейства ДЕКОН (Edekonmadal, Бизнес-Декон, Веб-Декон), позволяющего осуществлять свертку гетерогенных критериев, описывающих стесненные условия труда и получать интегральный показатель [2,3]. Сметчик также разрабатывает необходимый коэффициент в случае, если специалист коммерческого отдела не нашел подходящий коэффициент из имеющихся, из-за чего отправил сметчику задание на разработку данных коэффициентов. После разработки для специалиста коммерческого отдела нужного коэффициента, обуславливающего реальные факторы сложности, специалист сметного отдела применяет получившийся коэффициент к внутрифирменной расценке и направляет данный расчёт в БД внутрифирменных расценок.

Библиографический список

1. *Гладких В.С., Гуреева А.Н.* Проблемы современного ценообразования в строительстве [Электронный ресурс] // Российский экономический интернет-журнал. – 2017. – №4. – С. 17. – URL: <http://www.e-rej.ru/publications/171/Г/> (дата обращения: 02.08. 2020).
2. *Алексеев А.О.* Комплексное оценивание сложных объектов в условиях неопределенности // Прикладная математика и вопросы управления. – 2019. – № 2. – С. 103–131.
3. *Гуреев К.А., Гуреева Е.Г.* Развитие методологии и методических основ измерения трудоемкости работ специалистов с учетом факторов сложности // Экономика и предпринимательство. – 2016. – № 11–2 (76-2). – С. 560–564.

INCLUSION OF THE OPERATIONAL BASIC-INDEX METHOD IN BUSINESS PROCESSES OF COST ENGINEERING

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia,
614000, gladkikh.lera@yandex.ru

Abstract: In view of the development of an innovative method in the field of estimated rationing and pricing in construction, a model of the business processes of employees engaged in value engineering and using the operational base-index method in their calculations is shown. The scheme for calculating the estimated cost, taking into account the use of the operational base-index method, is shown. The functional capabilities of the head of the commercial department, a specialist of this department and a specialist in the field of pricing and estimated rationing are described. In addition, the diagram of business processes, executed in BPMN 2.0 notation, clearly shows how important the innovative method is in the estimated pricing at the “Project documentation” stage, or at the “Investor estimates” stage. Taking into account the unique possibilities for taking into account the modern technology of work and the factors of difficulties present at today's construction sites, the developed method will play an important role in calculating the cost of work, in the rational distribution of time for submitting a commercial proposal, as well as in the cost costs for specific specialists in cost engineering.

Keywords: operational base-index method, complex assessment mechanisms, business processes, BPMN 2.0 notation, value engineering.

НЕАНОНИМНЫЙ СЛУЧАЙ ГОЛОСОВАНИЯ ПРИ СОГЛАСОВАНИИ ИНТЕРЕСОВ АГЕНТОВ

Катаева Татьяна Александровна

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр-т, 29,
tatyana.kataeva2014@yandex.ru

Показана актуальность применения матричных механизмов комплексного оценивания в современных условиях. Рассмотрена и описана процедура неанонимного голосования агентов в процессе согласования интересов, в которой учтен вес экспертов, участвующих в оценке, что позволяет учитывать фактор компетентности эксперта. Доказана неманипулируемость процедуры оценки неанонимного механизма согласования с использованием матричных медианных схем, в которой оценка агента с определенным весом рассматривается как набор оценок нескольких виртуальных агентов, число которых соответствует весу агента. Приведен пример распределения весов экспертов, участвующих в процедуре голосования. Описана научная и практическая значимость полученных результатов. Приведены примеры задач согласования интересов в организационных системах, к решению которых можно применить данный механизм. Приведены варианты развития исследования.

Ключевые слова: неманипулируемость, неанонимность, экспертные оценки, анонимный, согласование интересов, активный агент, виртуальный агент, виртуальное общество, неанонимный механизм голосования, фантом.

Механизмы комплексного оценивания достаточно широко используются при решении практических задач управления, в том числе, в задачах согласования интересов [1-6]. Ежедневно в компаниях принимается множество решений, которые зачастую требуют учета мнения нескольких экспертов. Решения принимаются на основании оценки множества факторов. В этой связи использование матричных механизмов комплексного оценивания является актуальным.

В настоящее время доказано, что медианные схемы голосования являются неманипулируемыми механизмами активной экспертизы, то есть теми, в результате использования которых получают согласованные комплексные оценки, исказить которые экспертам не выгодно, так как полученное решение

является равновесием по Нэшу [3, 6]. Применение медианных схем голосования в задачах комплексного оценивания нескольких факторов описано в работе А.О. Алексеева и Н.А. Коргина [2]. При этом анонимный матричный медианный механизм комплексного оценивания является неманипулируемым при согласовании матрицы и манипулируемым по комплексному показателю [1].

На практике часто происходит ситуация, когда в комплексном оценивании участие принимают эксперты разного уровня компетентности, например, представитель совета директоров компании, руководитель отдела и специалист, что делает необходимым учет весов экспертов в механизме комплексного оценивания. В данном случае, мы не можем менять местами агентов и оценки, то, что говорит агент, это только его решение. На сегодняшний день такой фактор как уровень компетентности экспертов, не был учтен в моделях.

Цель данной статьи – описать процедуру неанонимного голосования экспертов и доказать неманипулируемость метода.

Предположим, что при создании виртуальных обществ – множеств виртуальных агентов, число которых в обществе пропорционально весу реальных агентов, результат комплексного оценивания является неманипулируемым. В данном случае оценка агента с определенным весом рассматривается как набор оценок нескольких виртуальных агентов, где количество этих агентов соответствует весу реального агента.

Создаем несколько виртуальных обществ:

Первое – виртуальное общество, в котором все самые важные агенты, кроме самого не важного, говорят максимальную оценку, а самый неважный говорит минимальную оценку.

Второе – виртуальное общество, в котором все самые важные члены общества кроме двух самых неважных говорят максимум, а двое самых неважных – минимум.

И так далее, пока не образуется виртуальное общество, в котором будет только один важный агент, сообщающий максимум, а остальные – минимум.

Пример:

Пусть есть n экспертов с разным весом g . В оценке участвуют три эксперта, $n = 3$. Эксперты $n1, n2, n3$, высказали оценки 1, 2 и 4 соответственно. Допустим, что вес первого эксперта $r1 = 0.5$, вес второго эксперта $r2 = 0.3$, вес третьего эксперта $r3 = 0.2$, где $r1, r2$ и $r3$ – вес первого, второго и третьего эксперта соответственно. Тогда вектор весов задан следующим образом: $\{0.5, 0.3, 0.2\}$.

Требуется проверить справедливость того, что итоговая комплексная оценка, полученная при использовании неанонимного механизма будет

являться медианой, тогда можно будет утверждать, что механизм является неманипулируемым.

Необходимо обеспечить условие, при котором количество реальных экспертов будет нечетным. Введем переменную k , значение которой соответствует количеству фантомных агентов, что в свою очередь соответствует весу реального агента. В данном случае k – это такое минимальное число, в результате умножения которого на вес ($r \times k$) получается целое число. Для весов r_1 , r_2 и r_3 минимальным k будет равно десяти ($k = 10$). Каждого реального эксперта мы можем заменить на значение произведения $r \times k$.

В нашем примере, трех экспертов с весами 0,5, 0,3 и 0,2 заменяем на виртуальных агентов, пять из которых сообщают оценку 1, трое сообщают оценку 2 и два виртуальных эксперта сообщают оценку 4. Тогда получаем вектор оценок {1 1 1 1 2 2 2 4 4 4}. Виртуальные агенты являются уже равноправными агентами, как в анонимном механизме. Таким образом, определяем в дополнение девять фантомов.

При использовании среднеарифметической функции, оценки фантомов будут следующими {1.3 1.6 1.9 2.2 2.5 2.8 3.1 3.4 3.7}.

Общий вектор оценок виртуальных агентов и фантомов будет следующим: {1 1 1 1 1 1,3 1,6 1,9 2 2,2 2,5 2,8 3,1 3,4 3,7 4 4}. Получено девятнадцать оценок, медианой в этом случае будет десятая оценка, то есть оценка 2.

Оценка 2 соответствует сообщению виртуального агента, он в данном случае является диктатором, ему невыгодно исказить свою оценку, другим агентам также невыгодно исказить оценку, так как искажение не приведет к приближению результирующей оценки к их мнению.

Пусть второй эксперт считает, что оценка параметра должна быть равна 2,3, а не 2, тогда его оценка расположится между оценками 2,2 и 2,5, которые в прошлом примере принадлежали правой коалиции. Тогда этот эксперт смещает оценку 2,2, она теперь принадлежит левой коалиции, а 2,5 остается в правой. В результате его оценка все равно остается медианой, именно его оценка делит все множество на правую и левую коалицию.

Вес эксперта может устанавливаться на основании модели компетенций, если в компании используется компетентностный подход. Также веса можно устанавливать на основе грейдов. Самый простой способ присвоения весов – это распределение весов в соответствии с уровнем управления, на котором находится эксперт.

Например, в компании 5 уровней управления, в оценке принимают участие 3 эксперта, один из которых является руководителем высшего звена, второй руководителем среднего звена, а третий специалистом.

Тогда веса могут быть распределены следующим образом: $r1 = 0.5$, $r2 = 0.3$, $r3 = 0.2$.

Таким образом, неанонимный матричный механизм комплексного оценивания является неманипулируемым в том случае, если при расчетах создавать виртуальные сообщества, которые состоят из количества виртуальных агентов, число которых равно весу реального агента.

Теоретическая значимость полученных результатов заключается в том, что использование неанонимной медианной схемы согласования матричного механизма комплексного оценивания обеспечивает неманипулируемость самих результатов комплексного оценивания, полученных при использовании медианной матрицы свертки.

С практической точки зрения неманипулируемость комплексной оценки означает возможность использования предложенного подхода для согласования интересов экспертов различного ранга и различного уровня компетентности. Перспективным направлением исследований является исследование экономической эффективности данного механизма.

Механизм является универсальным и его можно использовать при решении множества практических задач, например, согласование интересов при выборе проектов в портфель, согласование политики менеджмента риска, а также при формировании стратегии компании, при согласовании системы показателей результативности [моястатья].

Библиографический список

1. *Алексеев А.О.* Математические и инструментальные методы комплексного оценивания в условиях неопределенности. учеб. пособие. – Пермь: Изд-во. Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. – 100 с.
2. *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.
3. *Бурков В.Н., Искаков М.Б., Коргин Н.А.* Применение обобщенных медианных схем для построения неманипулируемых механизмов активной экспертизы // Проблемы управления. 2008. № 4. С. 38–47.
4. *Губко М. В., Караваев А. П.* Согласование интересов в матричных структурах управления // Автомат. и телемех. 2001. №10. С. 132-146.

5. Катаева Т.А., Применение механизма комплексного оценивания к решению задачи отбора проектов // Прикладная математика и вопросы управления. 2020. №1. С. 104-113.
6. Коргин Н.А. Эквивалентность и неманипулируемость неанонимных механизмов приоритетных механизмов распределения ресурсов // Управление большими системами. 2009. №26.1. С. 319-347.
7. Мельникова Н.С. Согласование интересов власти и бизнеса как элемент управления. Социально-экономическим развитием региона // Вестник Волгоградского государственного университета. 2014. №2 (25). С. 37-42.
8. Пантя Ю.М. Механизм согласования интересов собственников и наемных управляющих в корпорациях РФ // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2013. С. 145-148.

NON-ANONYMOUS VOTING SCHEME WITHIN COORDINATION OF THE RATING AND CONTROLLING MECHANISM

Kataeva Tatiana A.

Perm National Research Politechnical University, Komsomolsky Av. 29, Perm,
Russia, 614000, tatyana.kataeva2014@yandex.ru

Abstract. The article shows the relevance of matrix mechanisms of complex assessment using in modern conditions. The article considers and describes the procedure of non-anonymous voting of agents in the process of coordinating interests, which takes into account the weight of the experts participating in the assessment, which makes it possible to take into account the factor of the expert's competence. The non-manipulability of the procedure for evaluating a non-anonymous matching mechanism using matrix median schemes is proved. In this procedure, an agent's score with a certain weight is considered as a set of scores for several virtual agents, the number of which corresponds to the agent's weight. An example of the distribution of the weights of experts participating in the voting procedure is given. The scientific and practical significance of the results are described. The article provides the examples of problems of coordination of interests in organizational systems and presents how mechanism can be applied to the solution of which this. The options for the development of the study are presented.

Key words: non-manipulability, non-anonymity, expert judgment, anonymous, reconciliation of interests, active agent, virtual agent, virtual society, non-anonymous voting mechanism, phantom.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ДОСТОВЕРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОТРАСЛИ И ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ

Кылосова Виктория Викторовна, Носкова Александра Романовна

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29,
kylosova95@gmail.com

Авторами проводится исследование математических моделей отраслевой идентификации и отраслевого прогнозирования банкротства, разработанных на основе методов системно-когнитивного анализа. Модели исследуются на предмет их распознавательной способности в части вероятности достоверной идентификации при том или ином интегральном показателе информационной важности. Проводится анализ распределения компаний обучающей выборки относительно данного показателя. Полученный результат свидетельствует о том, что при интегральном показателе близком к нулевому значению вероятность достоверной идентификации существенно снижается. На результат в значительной степени повлияла высокая концентрация компаний обучающей выборки, а именно значения их интегрального показателя, вблизи нулевой отметки, что говорит о неоднозначности классификации данных компаний. Результаты исследования будут интересны специалистам в области математического моделирования и информационных технологий.

Ключевые слова: отраслевая идентификация, прогнозирование банкротства, методы системно-когнитивного анализа, вероятность идентификации.

Авторами на основе методов системно-когнитивного анализа (СК-анализа) разработаны модели отраслевой идентификации и модели отраслевого прогнозирования банкротства [1,2,3]. Модели идентифицируют отраслевую принадлежность предприятий и организаций с достоверностью 83%, финансовое состояние – с достоверностью до 90%.

Актуальность направления отраслевой идентификации обусловлена повышенными рисками, связанными с заключением контрактов с компаниями, не имеющими необходимых производственных мощностей и соответствующей квалификации персонала, с безадресной поддержкой компаний в проектах, не характерных для отрасли деятельности, а также с искажением статистических

данных, влияющих на выработку управленческих решений органов власти, научных сообществ и частных компаний.

Прогнозирование банкротства не менее актуально по причине большого числа решений о финансовой несостоятельности в последние годы – 12-13 тыс. решений Арбитражного суда ежегодно. При этом наиболее подверженной негативной тенденции является строительная отрасль, по статистическим данным каждая пятая обанкротившаяся организация осуществляла деятельность в области строительства. Несмотря на последствия пандемии, отразившиеся на деятельности предприятий и организаций различных отраслей экономики, в 2020 году резкого числа случаев банкротства не ожидается, поскольку Правительством введен временный мораторий на возбуждение дел о банкротстве для ряда компаний (всего в список вошли почти 1,3 млн компаний и индивидуальных предпринимателей).

Главной составляющей разработанных моделей является совокупность признаков, характерных для компаний определенной отрасли или класса финансового состояния. При этом под признаками понимаются диапазоны удельных весов строк баланса в валюте баланса, наделенные значениями информационной важности. Каждая из компаний обучающей выборки обладает интегральным показателем информационной важности относительно отраслей или классов финансового состояния. Исследование распределения общего количества компаний выборки, а также компаний отдельных классов относительно интегральных показателей позволило получить значения вероятности верного и ошибочного прогнозов в определенных диапазонах интегрального показателя.

Результаты исследования вероятности относительно достоверной отраслевой идентификации на примере строительной отрасли представлены на рисунке 1.

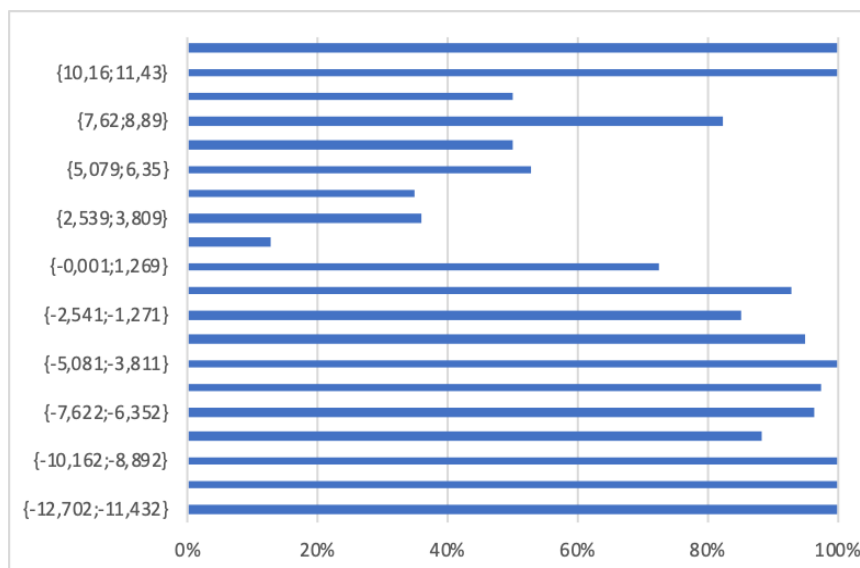


Рисунок 1 – Вероятность достоверного прогноза для отрасли строительства

Близкие к нулевому значению показатели информационной важности ложно идентифицируют отрасль, в случае строительной отрасли модель верно определила лишь 4 компании на данном диапазоне, что составляет 13% от общей выборки компаний данной отрасли.

Достоверность модели достигает 100% в случае, если признаки отрасли не проявляются у конкретного предприятия, либо наоборот являются ярко выраженными, что можно наблюдать при наиболее положительных и наиболее отрицательных значениях интегральных показателей информационной значимости. Вероятность достоверной идентификации существенно снижается при слабом проявлении признаков, либо если полученные интегральные значения конкретной компании присущи нескольким отраслям. Подобный анализ был проведен для всех включенных в исследование отраслей (сельское хозяйство, добыча полезных ископаемых, химическая отрасль, отрасль информационных технологий).

Аналогичное исследование проведено относительно отраслевых моделей прогнозирования банкротства. Согласно полученным результатам (рисунок 2), вероятность безошибочного прогноза относительно степени финансовой состоятельности возможна на отметке 100% при интегральном показателе информационной важности менее (-1,535), а также более 1,916. Наименьшая вероятность (на уровне 64%) наблюдается при интегральном показателе в диапазоне наиболее близком к нулю, на что повлияла высокая концентрация общего числа компаний выборки в данном диапазоне и их финансовое состояние, характеризующееся потерей финансовой устойчивости.

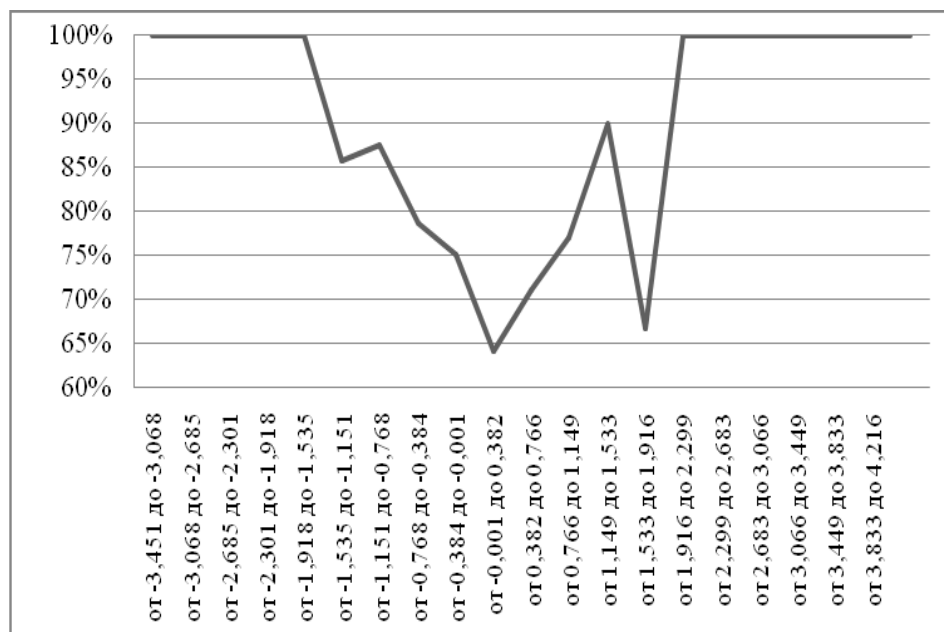


Рисунок 2 – Вероятность достоверного прогноза относительно финансовой состоятельности

В случае прогноза относительно степени банкротства 100% вероятность отмечается при показателе ниже (-1,627) и выше 1,354, низкая вероятность фиксируется около нулевой отметки, как и в случае прогноза финансовой состоятельности.

Таким образом, повышение вероятности достоверной идентификации в отдельных диапазонах является одним из перспективных направлений для дальнейших исследований. Предполагается, что этому будет способствовать увеличение обучающей выборки, учет межотраслевой специфики компаний, а также введение дополнительной категории финансового состояния, обозначающей положение между банкротством и финансовой состоятельностью компаний.

Библиографический список

1. Носкова А.Р., Алексеев А.О., Луценко Е.В. Применение системно-когнитивного анализа в отраслевом прогнозировании финансового положения предприятий (на примере строительной отрасли) // Прикладная математика и вопросы. – 2019. – №1. – С.87–99.
2. Кылосова, В.В. Отраслевая идентификация предприятий и организаций по видам экономической деятельности // Математика и междисциплинарные исследования – 2019: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. – 2019. – С. 210–213.

3. Математические методы и инструментальные средства отраслевой идентификации предприятий и организаций по видам экономической деятельности / А.О.Алексеев, И. Е.Алексеева, А. Р. Носкова, В. В. Кылосова, А. И. Князева // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Экономика. Управление. Право. – 2019. –№2. –С.172–180.
4. Луценко Е. В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ // Экономика знаний: стратегические проблемы и системно-когнитивные решения. – 2016. – С. 26–37.
5. Луценко Е.В. Теоретические основы, технология и инструментарий автоматизированного системно-когнитивного анализа [Электронный ресурс]. – URL: <http://lc.kubagro.ru/aidos/index.htm>.

RESEARCH OF THE TRUE IDENTIFICATION PROBABILITY OF THE INDUSTRY AND THE ORGANIZATION'S FINANCIAL POSITION

Kylosova Viktoriia V., Noskova Aleksandra R.

Perm National Research Polytechnical University of Perm, Komsomolsky Av. 29,
Perm, Russia, 614000, kylosova95@gmail.com

The authors study mathematical models of industry identification and bankruptcy prediction, developed on the basis of methods of system-cognitive analysis. Models are studied for their recognition ability in terms of the probability of reliable identification with a particular integral indicator of information importance. The analysis of the distribution of companies in the training sample in relation to this indicator is carried out. The obtained result indicates that the probability of reliable identification is significantly reduced when the integral indicator is close to zero. The result was largely influenced by the high concentration of companies in the training sample near the zero mark, which indicates that the classification of these companies is ambiguous. The results of the study will be of interest to specialists in the field of mathematical modeling and information technology.

Keywords: industry identification, bankruptcy prediction, system-cognitive analysis methods, probability of identification.

БИНАРНЫЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ДЕФОЛТА*Пащенко Данил Эдуардович*

Вятский государственный университет, 610000, Россия, г. Киров,
Московская, д. 36, depashchenko@mail.ru

В работе рассматриваются модели машинного обучения на основе использования современных методов и средств вычислительной техники. Расчёты произведены по базе, данные для которой взяты из общедоступных источников информации (сайт Спарк-Интерфакс) [1]. Цель данной работы – разработка модели оценки вероятности дефолта заемщиков, на примере российских компаний отрасли торговли с использованием данных на основе финансовой отчетности предприятий и другой информации, а также возможностей машинного обучения. В результате исследования сформирована база экономических показателей, построены различные модели, позволяющие при вводе данных нового клиента сделать приблизительный вывод о его финансовой надёжности. Для реализации использовался язык программирования Python. Он в полной мере предоставляет возможность обработки данных и их визуализацию [3].

Ключевые слова: бинарная классификация, анализ данных, машинное обучение, сравнение методов, дефолт

В условиях рыночной экономики особое место занимает рынок капитала, ввиду того что он является ведущим источником долгосрочных финансовых ресурсов. В состав рынка капитала входят рынок ценных бумаг, рынок банковских услуг [2]. В настоящее время существует большое количество коммерческих банков, сформировалась немалая конкуренция на банковском рынке. Вопрос оценки кредитоспособности клиента встаёт крайне остро перед потенциальными кредиторами.

Структура данных. База имеет следующую структуру:

Таблица 1 – Структура данных

Название фирмы	Краткосрочные обязательства
Фирма-банкрот	Пассивы
Место регистрации	Активы
Год образования	Дебиторская задолженность

Название фирмы	Краткосрочные обязательства
Категория фирмы	Капитал и резервы
Выручка от реализации	Кредиторская задолженность
Чистая прибыль	Оборотные активы
Чистые активы	Налогооблагаемая прибыль
Долгосрочные обязательства	Себестоимость

Были выбраны именно эти экономические показатели, так как они участвуют в рейтинговой модели оценки кредитного риска. С сайта Спарк-Интерфакс были выбраны все российские фирмы сферы торговли. Выборки оказались разными по объёму, если разделять их по критерию банкротства: 17 566 действующих и 1 825 банкротов, всего 19 391 фирм. Выборка была сужена до 3118 фирм, по 1559 каждого класса. Распределение фирм по субъектам выглядит следующим образом:

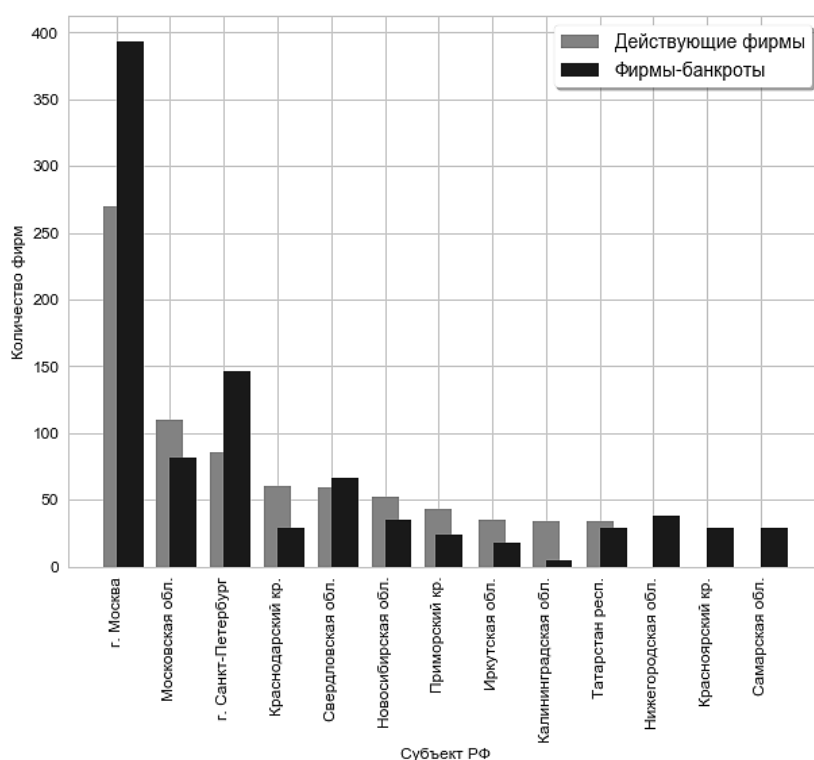


Рисунок 1 – Распределение фирм по субъектам РФ

Предобработка данных. На этапе предобработки фирмы разделены на три равные группы в зависимости от размера активов. Условно представим их как «1» – малая фирма, «2» – средняя, «3» – крупная. Фирмы с активами до 5 476 220 будут отнесены в первую категорию, с активами свыше 26 034 760 – в третью, остальные – во вторую.

В выборке имеются только две категориальные переменные: «субъект РФ» и «год создания». Количественные переменные были стандартизованы. Данные были разделены на обучающую и тестовую выборку в соотношении 80 к 20.

Рассмотренные модели и результаты. Были рассмотрены 8 основных типов моделей: наивный байесовский классификатор, метод k-ближайших соседей, логистическая регрессия, метод опорных векторов, решающие деревья, случайный лес, многослойный персептрон и градиентный бустинг. Также по итогам их обучения был построен ансамбль классификаторов, сочетающий в себе 3 модели, наиболее хорошо показавшие себя на предыдущем этапе. Результаты построения приведены в таблице ниже. В качестве оптимизируемой метрики был выбран AUC . Площадь под ROC-кривой является агрегированной характеристикой качества классификации, не зависящей от соотношения цен ошибок. Чем больше значение AUC , тем «лучше» модель классификации [4].

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN}, \quad TPR = \frac{TP}{TP + FN}, \quad AUC = \frac{1 + TPR - FPR}{2},$$

где TN – верно предсказанное ложное значение, FN – ошибочно предсказанное ложное значение, TP – верно предсказанное истинное значение, FP – ошибочно предсказанное истинное значение, FPR – доля ложных положительных решений, TPR – доля верных положительных решений, AUC – площадь под ROC-кривой.

Модели, взятые для построения ансамбля классификаторов, были выбраны по наилучшим показателям AUC на тестовых данных после подбора параметров с помощью поиска по сетке. По таблице 2, представленной ниже, видно, что это решающие деревья, случайный лес и градиентный бустинг. Качество работы ансамбля показаны в последнем столбце. Каждая модель с подобранными параметрами проверялась на наличие переобучения по кросс-валидации. Эти данные также отражены в таблице.

Таблица 2 – Результаты обучения классификаторов

	Naive Bayes	KNN	Logistic Regression	SVM	Decision Tree	Random Forest	Multilayer Perceptron	Gradient Boosting	Ensemble
TN	22	132	135	140	176	182	148	180	181
FN	193	83	80	75	39	33	67	35	34
TP	234	192	191	184	154	188	174	187	192
FP	19	61	62	69	99	65	79	66	61

	Naive Bayes	KNN	Logistic Regression	SVM	Decision Tree	Random Forest	Multilayer Perceptron	Gradient Boosting	Ensemble
Total True	256	324	326	324	330	370	322	367	373
Total False	212	144	142	144	138	98	146	101	95
AUC	0,520	0,771	0,761	0,756	0,807	0,860	0,769	0,866	0,872
AUC CV	0,550	0,735	0,715	0,712	0,772	0,819	0,696	0,823	0,852
Accuracy	0,547	0,698	0,697	0,692	0,705	0,791	0,680	0,784	0,797
Precision	0,548	0,698	0,705	0,710	0,798	0,851	0,716	0,842	0,850
Recall	0,925	0,759	0,755	0,727	0,609	0,743	0,676	0,739	0,759
F1-score	0,688	0,727	0,729	0,719	0,691	0,793	0,695	0,787	0,802

Были рассмотрены и другие сочетания моделей, однако самые хорошие результаты показал именно данный ансамбль. Проверим её на всех данных – возьмём для прогноза и проверки не только тестовые данные, а сразу всю выборку. Получим метрики:

AUC	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
0,909	0,819	0,865	0,756	0,801

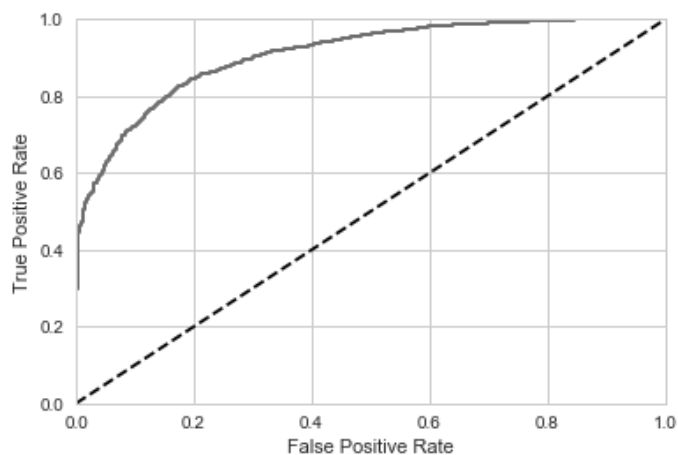


Рисунок 2 – ROC-кривая обучения

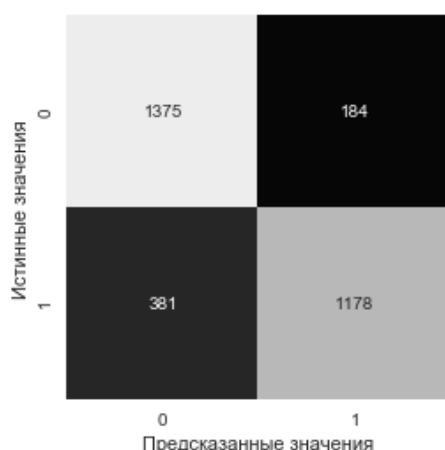


Рисунок 3 – Результаты обучения ансамбля классификаторов на всех данных

На рисунке 3, мы получили классификатор, который точен в 79,7% случаев (об этом говорит метрика Ассигасу на тестовых данных). Классификатор оптимален при соизмерении его качества и затрат на обучение: при обучении не приходилось использовать компьютер, обладающий выдающейся производительностью, временные затраты невелики. В процессе обучения классификаторов удалось улучшить основные метрики моделей в 1.7 раз (AUC вырос с 0.52 до 0.87), а количество ошибок сократилось в 2.3 раза (с 212 до 95).

Ансамбль классификаторов может быть использован при рассмотрении показателей реальных фирм, однако стопроцентной точностью предсказания он не обладает, поэтому решающая оценка положения фирмы всё равно остаётся за специалистом. Тем не менее, он может рассматриваться как ориентир при его определении.

Библиографический список

1. Спарк-Интерфакс. Проверка контрагента [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.spark-interfax.ru/>, свободный. Дата обращения: 07.03.2019
2. *Тотьмянина К.М.* Моделирование вероятности дефолта корпоративных заемщиков банков [Текст]: дис. канд. экн. наук. М.: НИУ ВШЭ, 2014. – 133 с.
3. Официальный сайт по языку Python [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.python.org/>, свободный. Дата обращения: 15.11.2018
4. Кривая ошибок [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Кривая_ошибок, свободный. Дата обращения: 07.03.2019

BINARY MODELS OF DEFAULT PROBABILITY ESTIMATION

Pashchenko Danil E.

Vyatka State University, 610000, Russia, Kirov, Moskovskaya str, 36,
depashchenko@mail.ru

Abstract: The paper considers machine learning models based on the use of modern methods and means of computer technology. The calculations were made based on a database; data for it was taken from publicly available information sources (Spark-Interfax website). The purpose of this work is to develop a model for assessing the default probability of borrowers, based on example of Russian companies in trade industry, using data based on financial statements of enterprises and other information, and machine learning capabilities. As a result of the research, a database of economic indicators was formed, and various models were built that allow us to make an approximate conclusion about the financial reliability of a new client when entering the data. Python programming language was used for implementation.

Keywords: binary classification, data analysis, machine learning, method comparison, default

**МЕХАНИЗМЫ СОГЛАСОВАНИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
УЧАСТНИКАМИ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ
НА ЭТАПЕ СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНОВ ПРОВЕДЕНИЯ
РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ
В МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМАХ**

Сафонов Никита Игоревич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, safonov@cems.pstu.ru

Согласованное управление проектами ремонтно-восстановительных работ (РВР) в отношении отдельных объектов жилой недвижимости является базой для обеспечения возможности перехода на более высокий уровень эффективности процесса управления жилым фондом в целом. Участие в процессе управления большого числа заинтересованных лиц с пересекающимися интересами порождает необходимость создания эффективных механизмов согласования решений. Повышение доли решений, согласуемых со всеми участниками процесса управления неизбежно приводит к бюрократизации и торможению процесса в целом. Решением данной проблемы является «механизация» ментальной деятельности субъектов, участвующих в процессе согласования, используя имитационное моделирование, результатом которого становится своеобразная форма искусственного интеллекта, препятствующая принятию не эффективных решений и наиболее полно описывающая предпочтения данных субъектов. Целью исследования является разработка и систематизация механизмов согласования внутрипроектных противоречий при составлении планов проведения ремонта жилого фонда. Для этого использована дискретная оптимизация и механизмы комплексного оценивания альтернатив. В настоящей статье осуществлена постановка и решение задачи согласования времени выполнения композиций планов РВР. Предложен вариант цифровизации процесса управления проектами РВР на основе автоматизированных систем и механизмов согласования планов. Предложенный инструмент построен при помощи эффективных процедур измерения и прогнозирования параметров технических подсистем и способен обеспечить высокую эффективность управления проектами. Согласование групп проектов обеспечивает значительную экономию ресурсов.

Ключевые слова: ремонтно-восстановительные работы, объекты жилой недвижимости, механизмы согласования, дискретная оптимизация, стоимость

восстановления, бесперебойное предоставление услуг, искусственный интеллект.

Технически и экономически целесообразно одновременное осуществление композиции планов ремонтно-восстановительных работ (РВР). Это позволяет сократить общие потери в непрерывном предоставлении собственникам многоквартирных домов (МКД) пользовательских услуг на основе экономии затрачиваемых на работу ресурсов. Получаемый эффект зависит от организации выполнения РВР, в основе которой должны лежать механизмы согласования планов. В складывающихся условиях влияния внешней среды и выполнения функциональных задач процессы нарастания физического износа технических подсистем МКД характеризуются различной динамикой, даже при одновременном завершении предшествующих процессов восстановления. Это обстоятельство ставит различные условия для определения оптимальных сроков исполнения планов РВР, которые могут не совпадать для всех технических подсистем МКД. Превышение оптимального срока выполнения плана РВР приводит к росту стоимости этих работ, а опережение – к упущенной выгоде, связанной с неполным использованием ранее оплаченного срока эффективной эксплуатации технических подсистем. Для более детального анализа становятся востребованными различные методы оценивания текущих и прогнозирования будущих состояний как технических подсистем, так и отдельных характеристик их элементов, которые целесообразно рассматривать с позиции расхода ресурсов на восстановление как функции $S(t)$ (рисунок 1, а).

С целью упрощения математической обработки данных о получении стоимости восстановления технических подсистем и их характеристик в зависимости от срока службы на рисунке 1, а представлены линеаризованные части кривой стоимости восстановления на различных фазах изменения физического износа: $[t_0; t_1]$ – первая фаза, $(t_1; t_2]$ – вторая фаза.

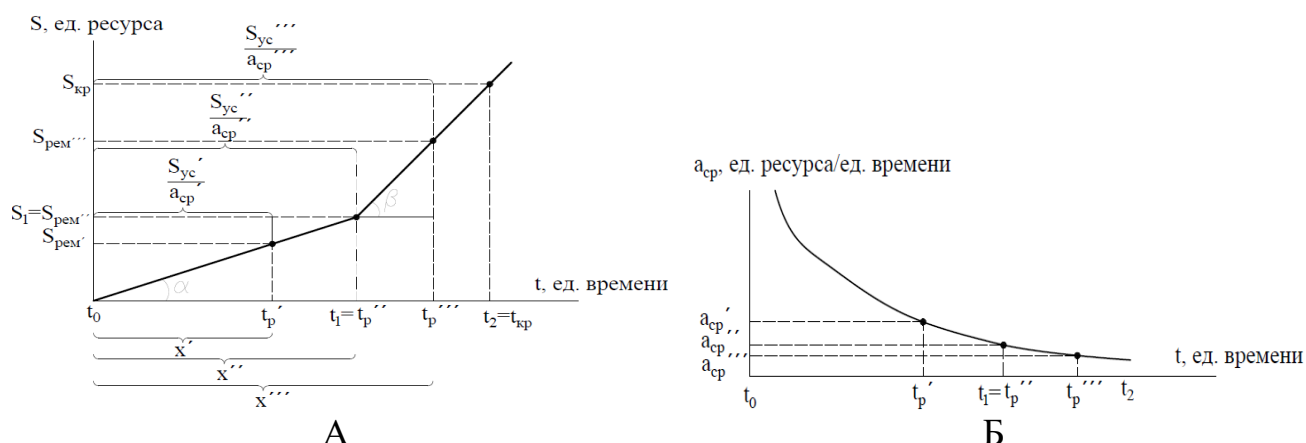


Рисунок 1 – Временные взаимозависимости стоимости восстановления (А) и прогнозируемого бесперебойного предоставления услуг собственникам (Б) как продукта РВР

Базовой моделью описания формирования средней цены $a_{ср}$ прогнозируемого бесперебойного предоставления услуг собственникам как продукта РВР – x предлагается описать следующим выражением:

$$a_{ср}(x) = \frac{S_i}{x} \quad (1)$$

где $x = t_p - t_0$ при $t_p \in [t_0, t_2]$, t_1 , t_2 – аргументы функции стоимости восстановления технических подсистем и их характеристик. Качественное отображение зависимости (1) представлено на рис. 1 б, где выделены три варианта формирования значений функции $a_{ср}(x)$: $a'_{ср}(t')$, $a''_{ср}(t'')$, $a'''_{ср}(t''')$, иллюстрирующие достижение некоторого прогнозируемого интервала времени предоставления услуг на фоне текущего времени t .

При увеличении периода эксплуатации технической подсистемы без проведения ремонта происходит уменьшение стоимость безаварийной работы. Однако одновременно с этим происходит увеличение стоимости восстановления технической подсистемы или ее характеристики. В данном случае возникает задача согласованного поиска оптимального решения, которую можно представить в виде следующих показателей:

$$a_{ср}(S_i, t_p, t_0) \quad (2)$$

$$S_{рем}(t_0, t_p, t_{1i}, t_{2i}, n_{1i}, n_{2i}), i \in \overline{1, I},$$

где I – количество подлежащих ремонту СК.

Помимо нахождения оптимального решения (2) в практике возникает необходимость корректировки времени выполнения работ и оценки последствий отклонения от расчетного значения t_p^{onm} . Оптимальное время начала выполнения ремонтных работ определяется минимальными затратами

ресурсов на выполнение работ $S_{\text{рем}}$, а также одновременной минимизацией упущенной выгоды в виде недоиспользования оставшегося ресурса и максимизации эффективности использования затраченного в момент времени t_0 ресурса, что можно представить как минимизацию $a_{\text{ср}}$. Данную процедуру можно представить в следующем виде:

$$A_{\text{ср}} = \sum_1^I a_{\text{ср}i}(S_i, t_p, t_0) = \sum_1^I \frac{S_i}{t_p - t_0}, t_0 \leq t_p \leq t_2 \quad (3)$$

$$S_{\text{рем}} = \sum_1^I S_{\text{рем}i}(t_0, t_p, t_{1i}, t_{2i}, n_{1i}, n_{2i}) = \sum_1^I \begin{cases} n_{1i}(t_{1i} - t_p), & t_0 \leq t_p \leq t_{1i} \\ S_{1i} + n_{2i}(t_p - t_{1i}), & t_{1i} \leq t_p \leq t_{2i} \end{cases} \quad (4)$$

Для поиска оптимального соотношения $A_{\text{ср}}$ и $S_{\text{рем}}$ целесообразно ввести весовые коэффициенты k_1 и k_2 , отражающие согласованные предпочтения собственников МКД, как ключевых участников процесса управления, в отношении затрат ресурсов и упускаемой выгоды при выполнении РВР. В связи с этим, в зависимости от предпочтений собственников в отношении эффективности использования уже затраченного в предыдущий период ресурса и объема ресурса, необходимого в текущий момент, находится оптимальное время выполнения ремонта $t_p^{\text{онм}}$ как аргумент от выражения:

$$t_p^{\text{онм}} = \arg \sup(\hat{X}_a(A_{\text{ср}}(t_p))k_1 + \hat{X}_s(S_{\text{рем}}(t_p))k_2), \quad (5)$$

где $k_1 + k_2 = 1$, $k_1, k_2 < 1$.

Для иллюстрации описанного выше механизма представим решение задачи поиска оптимального времени начала выполнения ремонта строительных конструкций (далее – СК) в МКД. По результатам оценки технического состояния подсистем разрабатывается перечень необходимых РВР, которые разбиваются на группы по принципу возможности их одновременного исполнения с целью обеспечения экономии ресурсов, которая может достигать 20 %. Для решения задачи необходимо оптимизировать такие показатели эффективности, как затраты ресурсов для выполнения РВР (для данной задачи – стоимость тыс.руб./ед. объема) и затраты на бесперебойное предоставление собственникам услуг (для данной задачи – стоимость тыс.руб./ед. объема).

Из срока службы всех СК в составе группы необходимо выделить интервал $[t_{\min}, t_{\max}]$ с оптимальным временем на реализацию проекта выполнения РВР. Нижняя граница интервала t_{\min} определяется как наименьшее из значений точек на оси абсцисс, характеризующих прогнозируемый переход каждой СК в составе группы из первой во вторую фазу физического износа. Верхняя граница интервала t_{\max} определяется как наибольшее из значений точек на оси абсцисс,

характеризующих прогнозируемое достижение какой-либо СК в составе группы предельного значения физического износа.

Поиск оптимального времени выполнения ремонта t_p^{onm} осуществляется методом дискретной оптимизации с использованием модели комплексного оценивания предназначенной для поиска момента реализации РВР, при котором наблюдается оптимальное, с позиции собственников, соотношение характеристик «цена бесперебойного предоставления услуг» и «стоимость восстановления СК». Для этого использовано алгоритмическое обеспечение задач ранжирования и выбора на основе линейных сверток «Декон–Джобс».

Для иллюстрации возможных вариантов нахождения t_p^{onm} в модельном примере решение задачи осуществлено при использовании трех вариантов значений взвешенных коэффициентов k_1 , k_2 . Результаты моделирования представлены на рис. 3.

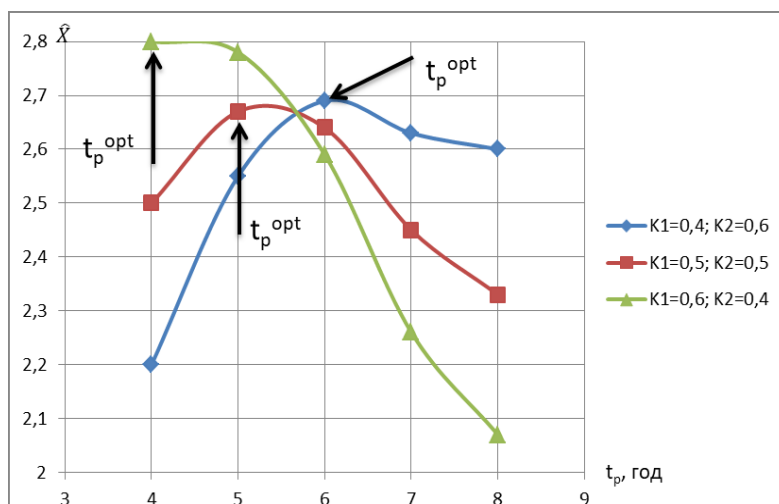


Рисунок 2 – Модельный пример оптимизации времени совместного выполнения РВР СК по критерию комплексного оценивания цены услуг и стоимости проектов при назначенных взвешенных коэффициентах k_1 , k_2

На рисунке 2 показано, что в зависимости от предпочтений собственников происходит смещение оптимального значения времени выполнения ремонта t_p^{onm} .

Выводы. Цифровизация процесса управления проектами ремонтно-восстановительных работ посредством внедрения автоматизированных систем и механизмов согласования планов, построенных на основе эффективных процедур измерения и прогнозирования параметров технических подсистем, способна обеспечить высокую эффективность управления проектами в строительстве.

Авторами поставлена и решена задача согласования композиции планов выполнения ремонтно-восстановительных работ. Предложенная модель обеспечивает функциональную полноту в механизмах согласования, что способствует достижению равновесия в рассматриваемом классе сложных организационных систем. Данные результаты могут быть использованы в других предметных областях не только строительной отрасли.

Библиографический список

1. *Резников Б.А.* Системный анализ и методы системотехники; Ч.1: Методология системных исследований. Моделирование сложных систем. – М: Министерство обороны СССР, 1990. – 522 с.
2. *Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.М.* Дискретная математика для инженера. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 480 с.
3. *Канеман, Д. Словик, П. Тверски, А.* Принятие решений в неопределенности. Правила и предубеждения. 2-е изд., испр., перераб. / Пер. с англ. – Х.: Изд-во «Гуманитарный центр», при участии Гритчиной О.В., 2014. – 544с . (Kaneman D., Slovik P., Tverski A. Prinjatie reshenij v neopredelennosti. Pravila i predubezhdenija [Decision-making in uncertainty. Rules and prejudices] 2-e izd., ispr., pererab. Transl. with English. – Н .: Publishing house "Humanitarian Center", with the participation of Gritsina OV, 2014. 544 p)
4. Интеллектуальные технологии обоснования инновационных решений: монография / В.А. Харитонов [и др.]; под ред. В.А. Харитонова. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2010. – 342 с.
5. *Дмитрюков М.С., Харитонов В.А., Сафонов Н.И.* Совершенствование механизма активной экспертизы на основе обобщенных медианных схем для задач многоаспектного управления в социально-экономических системах // Прикладная математика и вопросы управления. – 2016. – № 2. – С.41-45.
6. *Попова О.Н., Симакина Т.Л.* Методика оценки ресурса работоспособности конструктивных элементов жилых зданий // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – № 7 (42). – С.40-50.
7. *Федоров В.В., Федорова Н.Н., Сухарев Ю.В.* Реконструкция зданий, сооружений и городской застройки: Учеб. пособие.- М.: ИНФРА-М, 2011. – 224 с. – (Высшее образование);
8. *Новиков Д.А.* Теория управления организационными системами. 3-е изд., испр. и дополн. – М.: Издательство физико-математической литературы, 2012. – 604 с.

9. Бурков В.Н., Исаков М.Б., Коргин Н.А. Применение обобщенных медианных схем для построения неманипулируемых механизмов многокритериальной активной экспертизы // Проблемы управления. – 2008. – № 4. – С.38-47.
10. Алексеев А.О., Коргин Н.А. О применении обобщённой медианной схемы для матричной активной экспертизы // Прикладная математика и вопросы управления. – 2015. – № 1. – С.170-177.
11. Андронникова Н.Г., Леонтьев С.В., Новиков Д.А. Механизмы нечеткой активной экспертизы // Автоматика и телемеханика. – 2002. – № 8. – С.128-135.
12. Харитонов В.А., Кривогина Д.Н., Сафонов Н.И. Укrocение субъективности в задачах автоматизации и управления технологическими процессами // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2017. – №2(6). – С.79-89.
13. Харитонов В.А., Кривогина Д.Н., Сафонов Н.И. Инструментальные средства «соединения креативности и технологичности» в задачах выбора // Управление большими системами. УБС-2017: материалы XIV Всероссийской школы-конференции молодых ученых. 2017. Пермь, 04-08 сентября 2017г. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2017. – С. 132-140.
14. Иванов К.А. Разработка структуры экономико-математической модели согласования интересов в сфере ЖКХ на муниципальном уровне. – 2014. – № 4. – С. 445-451.
15. Ларин С.Н., Малков У.Х. Применение методологии когнитивного моделирования для повышения качества услуг управляющих компаний в сфере ЖКХ. – 2015.- № 22 (307). – С. 53-63.
16. Гришкова Н.С., Нижегородцев Р.М. К вопросу государственного регулирования развития предприятий жилищно-коммунального хозяйства. – 2017. – № 4. – С. 136-139.
17. Pola G., Benedetto M.D.D. Control of Cyber-Physical-Systems with logic specifications: A formal methods approach // Annual Reviews in Control. 2019. Vol. 47. P. 178–192.
18. Zhu Y., Urtasun R., Salakhutdinov R., Fidler S. Exploiting Segmentation and Context in Deep Neural Networks for Object Detection // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). 2015. P. 4703-4711.
19. Ponsich A., Jaimes A.L., Coello C.A.C. A survey on multiobjective evolutionary algorithms for the solution of the portfolio optimization problem

- and other finance and economics applications // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. 2013. Vol. 17. P. 321–344.
20. *Chen Y., Zhang G.* Exchange rates determination based on genetic algorithms using mendel's principles: Investigation and estimation under uncertainty // Information Fusion. 2013. Vol. 14. P. 327–333.

DECISION-MAKING AGREEMENT MECHANISMS BY THE ORGANIZATIONAL SYSTEM PARTICIPANTS AT THE STAGE OF DRAFTING PLANS REPAIR APARTMENT BUILDINGS

Safonov Nikita I.

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614000, safonov@cems.pstu.ru

Basis coordinated management of renovation and restoration projects in relation to individual residential real estate objects is ensuring the possibility of higher level transition efficiency of the housing management process. Create effective mechanisms for coordinating decisions involvement of a large number of stakeholders with overlapping interests in the management process. An increase in the proportion of decisions that are agreed upon with all participants in the management process inevitably leads to bureaucratization and a slowdown in the process as a whole. The solution to this problem is the "mechanization" of the mental activity of the subjects participating in the coordination process, using simulation modeling, the result of which is a kind of artificial intelligence that prevents the adoption of ineffective decisions and most fully describes the preferences of these subjects. The aim of the study is to develop and systematize mechanisms for the coordination of intra-project contradictions when drawing up plans for the repair of the housing stock. For this, discrete optimization and mechanisms of complex estimation of alternatives are used. In this article, the formulation and solution of the task of coordinating the execution time of the compositions of the plans is carried out. A variant of digitalization of the project management process based on automated systems and mechanisms for coordinating plans is proposed. The proposed tool is built using effective procedures for measuring and predicting the parameters of technical subsystems and is able to provide high efficiency of project management. Aligning project groups provides significant resource savings.

Keywords: repair and restoration work, residential real estate objects, coordination mechanisms, discrete optimization, restoration cost, uninterrupted services provision, artificial intelligence.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ**

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРКОЛЯЦИИ k -МЕРОВ НА КУБИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ

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 модель перколяции k -меров на кубической решетке. k -мер представляет собой k подряд занятых узлов в одном из трех возможных направлений. k -меры равномерно распределены по всей решетке с заданной долей заполнения. Возможные ориентации k -меров равновероятны. Ориентацией k -мера и его координатами начала являются случайно сгенерированные числа. k -меры не могут пересекаться между собой, но могут образовывать кластеры. Для предложенной модели разработаны эффективные алгоритмы распределения k -меров по кластерам, поиска перколяционного кластера – кластера, пронизывающего всю решетку. При моделировании используются периодические граничные условия. Получены значения порогов перколяции при различных значениях длины k -мера. Значения порогов перколяции совпадают или близки к результатам других исследователей, что доказывает адекватность предложенной модели и алгоритмов.

Ключевые слова: математическое и компьютерное моделирование, теория перколяции, k -мер.

Введение

Перколяционные модели все больше находят свое применение [1-3]. В частности, перколяционные модели k -меров успешно используются для моделирования полимерных нанокомпозитов, содержащих углеродные наночастицы. В связи с этим актуальным является исследование новых и модификация существующих перколяционных моделей и разработка для них универсальных эффективных алгоритмов. В настоящей работе предложена и исследована математическая и компьютерная модель перколяции k -меров на кубической решетке. Для модели разработаны эффективные алгоритмы равномерной упаковки k -меров на решётке с заданной концентрацией, распределения k -меров по кластерам, поиска перколяционного кластера.

Данная модель может быть использована для изучения структуры и свойств полимерного нанокомпозита, содержащего углеродные нанотрубки.

Постановка задачи и методы моделирования

В рамках предложенной модели перколяции k -меров на кубической решетке k -мер представляет k подряд занятых узлов решетки в одном из трех возможных направлений. Ориентации k -меров равновероятны. k -меры равномерно распределены по всей решетке. Ориентацией k -мера и его координатами начала являются случайно сгенерированные числа. При моделировании использованы периодические граничные условия. Математически модель можно представить в виде

$$M = \langle L, Z, k, p, N \rangle,$$

где L – линейный размер кубической решетки, $Z_n = \{x_i, y_i, z_i\}$, $i = \overline{1, n}$ – множество троек координат начала k -мера, k – длина k -мера, p – заданная концентрация k -меров, N – количество испытаний.

Пример перколяционной структуры представлен на рисунке 1.

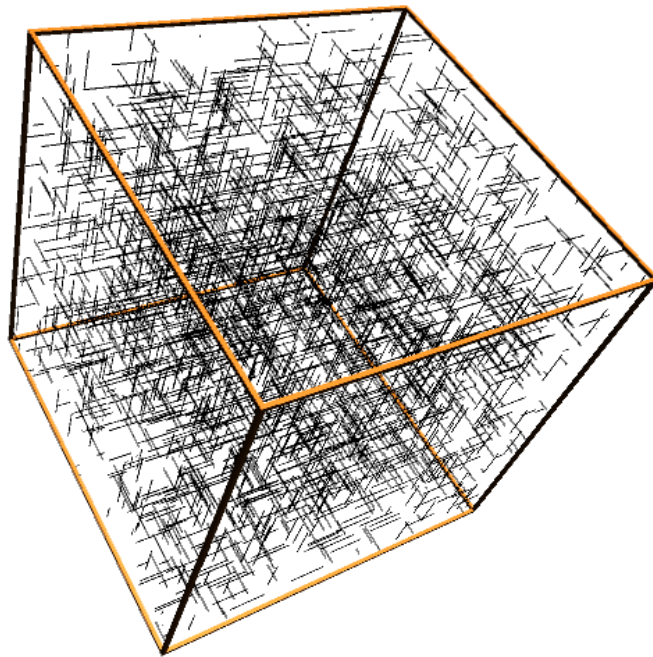


Рисунок 1 – $L=500$, $k=50$, $p=0.1\%$

Основной задачей при построении перколяционной модели является определение порога перколяции. Порог перколяции – это такая концентрация занятых узлов решетки, при которой вероятность возникновения

перколяционного кластера равна 0.5. Перколяционным кластером называется кластер, который пронизывает всю решетку.

Моделирование проводилось с использованием методов Монте-Карло. Для реализации модели была написана программа на языке программирования C#. Были написаны эффективные алгоритмы равномерного распределения k -меров на кубической решётке, разбиения k -меров по кластерам и поиска перколяционного кластера. Предложенные алгоритмы основаны на алгоритмах, предложенных авторами работы ранее для перколяционной модели k -меров на квадратной решётке. Алгоритмы и методика определения порога перколяции подробно описаны в работах [4, 5].

Значение порога перколяции для случая бесконечной системы определяется с помощью скейлингового соотношения:

$$|p_c(L) - p_c(\infty)| \propto L^{-1/\nu},$$

где ν (универсальный критический показатель) равен 0.875 в случае рассмотрения трехмерных перколяционных задач [6].

Результаты и обсуждение

Получены значения порогов перколяции при различных значениях L и k , а также для случая бесконечных систем. Полученные значения представлены в таблицах 1-5.

Таблица 1 – Пороги перколяции при $1 \leq k \leq 20$

$k \setminus L$	500	750	1000	∞
1	31.0678	31.1036	31.1183	31.1603
2	25.5695	25.6075	25.6259	25.6729
3	21.1241	21.1662	21.1847	21.2347
4	17.8709	17.9144	17.9348	17.9876
5	15.4150	15.4616	15.4816	15.5363
6	13.5118	13.5532	13.5745	13.6271
7	11.9903	12.0361	12.0560	12.1105
8	10.7572	10.8018	10.8229	10.8772
9	9.7383	9.7838	9.8044	9.8590
10	8.8839	8.9279	8.9491	9.0032
15	6.1085	6.1513	6.1732	6.2270
20	4.6027	4.6455	4.6678	4.7221

Таблица 2 – Пороги перколяции при $25 \leq k \leq 50$

$k \setminus L$	750	1000	1250	∞
25	3.7126	3.7329	3.7451	3.78624
40	2.2790	2.3001	2.3117	2.35291
50	1.7970	1.8180	1.8298	1.87118

Таблица 3 – Пороги перколяции при $80 \leq k \leq 100$

$k \setminus L$	1000	1250	1500	∞
80	1.0970	1.1091	1.1170	1.1510
100	0.8572	0.8708	0.8792	0.9164

Полученные значения порогов перколяции при $2 \leq k \leq 100$ близки к значениям, полученными другими исследователями [7]. Монотонное убывание порогов перколяции с увеличением k отличается от немонотонного в двумерном случае. Подобное отличие позволяет предположить, что размещение k -меров в трехмерном случае обладает некоторой особенностью, а также что порог перколяции будет монотонно уменьшаться и в дальнейшем и при определенном k выйдет на некоторое постоянное значение.

Для подтверждения предположения были проведены дополнительные эксперименты при $k > 100$. Результаты представлены в таблицах 4-5.

Таблица 4 – Пороги перколяции при $110 \leq k \leq 180$

$k \setminus L$	1250	1500	1750	∞
110	0.7846	0.7932	0.7986	0.8282
125	0.6808	0.6898	0.6961	0.7287
150	0.5529	0.5641	0.5701	0.6068
180	0.4465	0.4585	0.4657	0.5061

Таблица 5 – Пороги перколяции при $k = 200$

$k \setminus L$	1500	1750	2000	∞
200	0.4054	0.4131	0.4190	0.4539

Все полученные значения аппроксимируются функцией вида

$$Pc(k) = b + \frac{a - b}{1 + \left(\frac{k}{c}\right)^d}, \quad (1)$$

где $a = 0.15 \pm 0.02, b = 38.28 \pm 0.27, c = 3.60 \pm 0.05, d = 1.17 \pm 0.01$,

График аппроксимации значений порогов перколяции представлен на рисунке 2. На графике видно, что при увеличении длины k -мера, порог перколяции монотонно уменьшается.

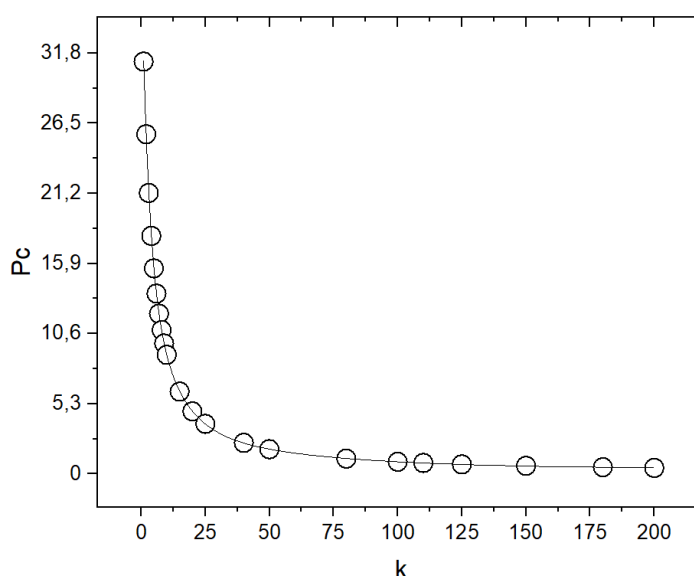


Рисунок 2 – Значения порогов перколяции при различных k и их аппроксимация функцией (1)

Авторами предполагается дальнейший анализ представленной перколяционной модели. Также планируется исследование некоторых модификаций предложенной модели, в частности рассмотрение разной длины и формы k -мера, и разные условия принадлежности k -меров одному кластеру.

Библиографический список

1. Бухаров Д. Н., Антипов А. А., Аракелян С. М. и др. Перколяционная модель электропроводности биметаллической островковой пленки // Южно-сибирский научный вестник. 2018. №4 (24)
2. Перколяционный метод [Электронный ресурс] // URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/nefteservis/336021-perkolyatsionnyy-metod/> (дата обращения 30.08.2020).
3. Некрасова А. А., Соколов С. С. Исследование возможности применения теории перколяции для управления потоками данных в информационных сетях на транспорте // Вестник государственного университета морского и речного флота им. Адмирала С. О. Макарова. 2015. № 4(32)
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.

6. *Тарасевич Ю. Ю.* Перколяция: теория, приложения, алгоритмы // Ю. Ю. Тарасевич. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 112 с.
7. *Garcia G. D., Sanchez-Varetti F. O., Centres P. M., Ramirez-Pastor A. J.* Random sequential adsorption of straight rigid rods on a simple cubic lattice.

THE COMPUTER SIMULATION OF A K-MERS PERCOLATION ON A CUBIC LATTICE

Bokov Kirill A., Buzmakova Mariya M.

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

Abstract. The percolation model of k -mers in the cubic lattice in the paper is proposed. k -mer represents k neighboring occupied nodes of one of three possible directions. k -mers are uniformly distributed in the lattice with the given concentration value. The possible orientations of k -mers are equal. The orientation of the k -mer and its origin coordinates are randomly generated numbers. k -mers cannot intersect, but can form clusters. For the model, effective algorithms have been developed for k -mers distributing to clusters, the percolation cluster searching. Periodic boundary conditions in the modeling is used. Percolation threshold values are obtained for different values k . Percolation thresholds values is coincided to the other researcher's results. It proves the adequacy of the proposed model and algorithms.

Keywords: the mathematical and computer modeling, the percolation theory, the k -mer.

УСТАНОВЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЦЕНКИ ФУНКЦИИ АОРТЫ, СОННЫХ АРТЕРИЙ И ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА

Гомзяков Борис Игоревич

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, borisgomzyakov@yandex.ru

Орехова Екатерина Николаевна, Матановская Татьяна Владимировна

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный центр
сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова», 614013, Россия, г. Пермь,
Маршала Жукова, д. 35, tania-larigina@yandex.ru

Рассматриваются ультразвуковые показатели сегментарной функции аорты и сонных артерий 30 разновозрастных здоровых детей. Экспериментальные данные получены с применением аппарата Acuson S 2000 (Siemens Medical System, Маунтин-Вью, США) с использованием визуализации вектора скорости движения. Проанализированы корреляции данных показателей, в том числе касательных напряжений на внутрисосудистой стенке, с выявлением сильной связи с динамическими параметрами левого желудочка. Оценка напряжений сделана в рамках классической задачи течения Пуазейля. Для расчёта зависимости между двумя переменными величинами использована формула для коэффициента корреляции Пирсона. Для получения последующей оценки поведения желудочка, а также нахождения в качестве предиктора оценки состояния сосуда среди полученных корреляций касательных напряжений выделена корреляционная связь между касательными напряжениями в отделе сонной артерии и коэффициентом жесткости.

Ключевые слова: аорта и сонная артерия, ультразвуковая оценка показателей течения, касательные напряжения, корреляции показателей, левый желудочек

Функциональные нарушения артериальной стенки считаются первым проявлением структурных изменений и предшествуют дальнейшим сердечно-сосудистым заболеваниям [1]. Федеральным центром сердечно-сосудистой хирургии имени С.Г. Суханова (г. Пермь) была дана статистическая выборка 30 здоровых детей различного возраста. Исследование одобрено локальным этическим комитетом учреждения, и письменное информированное согласие получено от родителей обследованных детей.

Оценка касательных напряжений на внутрисосудистой стенке получена в рамках классической задачи теории течения Пуазейля через среднюю скорость течения крови [2]: $\tau_{\max}^{rz} = 4 \frac{\mu}{R} v_z^{cp}$, где τ_{\max}^{rz} – максимальное касательное напряжение на стенке сосуда; μ – коэффициент вязкости крови; R – внутренний радиус сосуда; v_z^{cp} – средняя скорость течения крови на данном участке.

Для расчёта зависимости между двумя переменными величинами использована формула для коэффициента корреляции Пирсона [3].

Были рассмотрены следующие параметры левого желудочка (ЛЖ): конечный диастолический размер (КДР), конечный систолический объем (КСО), конечный диастолический объем (КДО), ударный объем (УО), фракция укорочения (ФУ), фракция выброса (ФВ), толщина межжелудочковой перегородки в диастолу (ТМЖП), индекс массы миокарда (ИММ), задняя стенка (ЗС), длинник. В восходящем отделе выделены следующие параметры сосудов: аорта восходящего отдела в диастоле (Ао восх Dd), аорта восходящего отдела в систоле (Ао восх Sd), артериальный комплаенс (АС восх), коэффициент аортального растяжения (AS восх), коэффициент растяжимости (DC восх), индекс жесткости (b восх), модуль упругости Юнга (юнга E восх), модуль жесткости Петерсона (петерсона Ер восх), скорость кровотока аортального клапана (АК кр-к), место коарктации аорты (перешеек), скорость пусковой волны (aСПБ). Помимо описанных параметров сосудов восходящего отдела в отделе сонных артерий были рассмотрены: фракция изменения площади (FAC), коэффициент жесткости (бета 2), комплекс интима-медиа (КИМ).

Результаты обработки данных показали, что хорошо коррелируют между собой базовые параметры: возраст, рост, вес, площадь поверхности тела (ППТ).

Хорошо коррелируют также возраст и ударный объем левого желудочка (УОЛЖ)

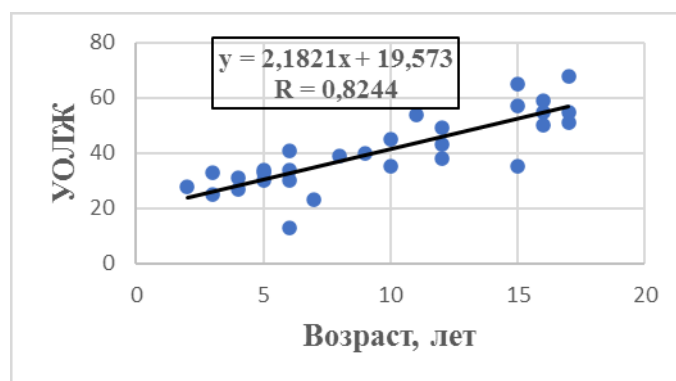


Рисунок 1 – Корреляция между УОЛЖ и возрастом

Достаточно хорошая корреляция между КДО ЛЖ, КСО ЛЖ и УОЛЖ, а также между УОЛЖ и длинник ЛЖ.

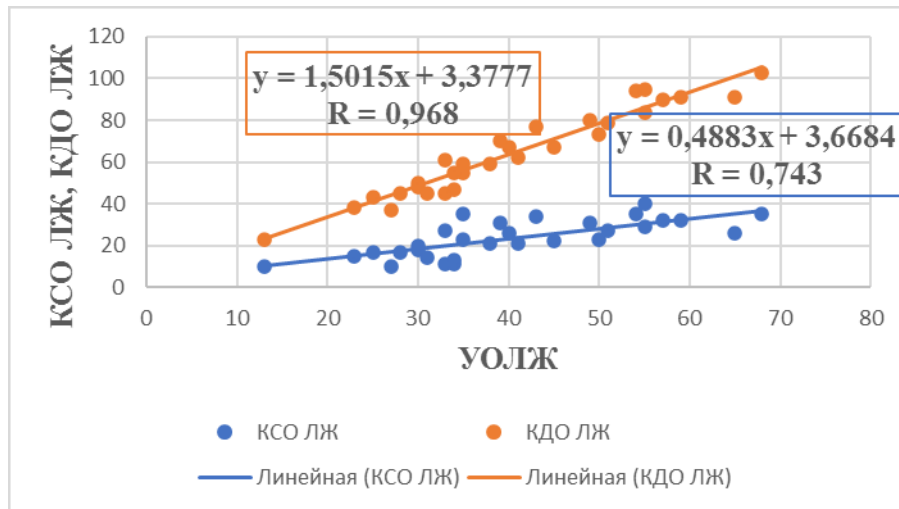


Рисунок 2 – Корреляция между КСО ЛЖ и УОЛЖ (синий цвет), корреляция между КДО ЛЖ и УОЛЖ – оранжевый

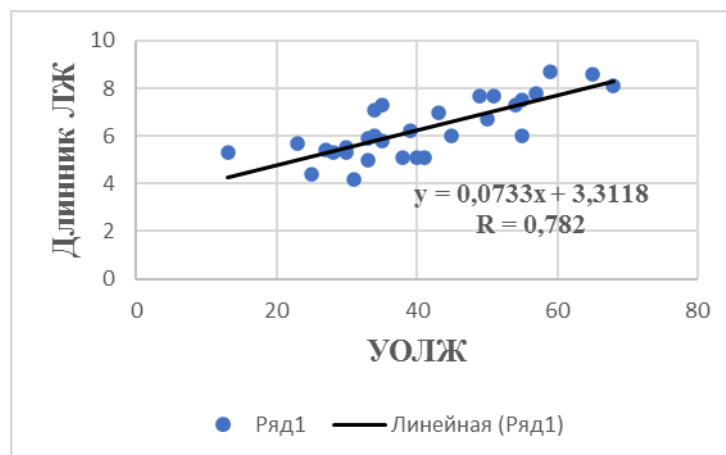


Рисунок 3 – Корреляция между длинник ЛЖ и УОЛЖ

Также установлено, что существует неплохая корреляция между ТМЖП, ЗСЛЖ и УОЛЖ.

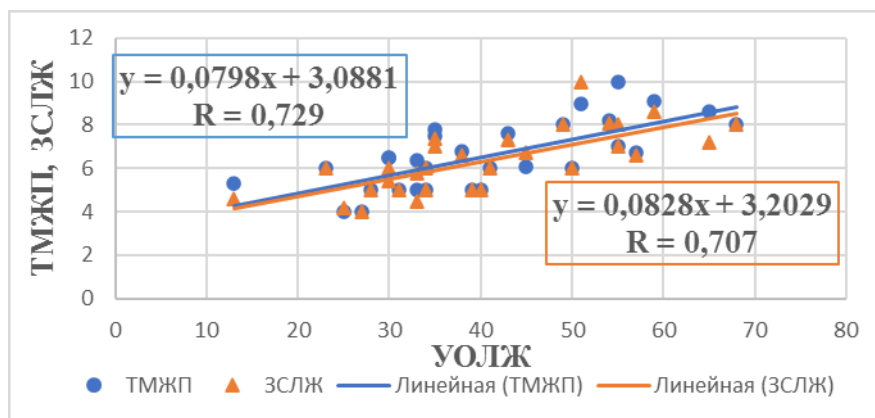


Рисунок 4 – Корреляция между ЗСЛЖ и УОЛЖ (синий цвет), а корреляция между ЗСЛЖ и УОЛЖ – оранжевый

Кроме корреляций между базовыми характеристиками были найдены корреляции между касательными напряжениями (КН) в восходящем отделе, а также в отделе сонной артерии и связанными с этими отделами параметрами.

Таблица 1 – Корреляция между КН восходящего отдела с другими параметрами восходящего отдела

Корреляция КН восходящего отдела с другими параметрами	
	КН
Ао восх Dd	-0.3
Ао восх Sd	-0.34
АС восх	0.01
AS восх	0.177
DC восх	0.256
b восх	-0.27
юнга Е восх	-0.12
Петерсона Ер восх	-0.27
АК кр-к	0.682
перешеек	-0.64
дуга	-0.26
Кр-к в нисх	0.234
аСПБ	0.123

Таблица 2 – Корреляция между КН в отделе сонной артерии с другими параметрами отдела сонной артерии

Корреляция КН ОСА с другими параметрами	
	КН
OCA Dd	-0.204
OCA Sd	-0.227
AC OCA	0.0249
AS OCA	0.1532
DC OCA	0.1255
b 1 OCA	-0.053
E OCA	-0.1448
E p OCA	-0.009
Str OCA	-0.244
SR OCA	-0.193
FAC OCA	0.0369
бета 2	0.4239
кр-к ОСА	0.7599
КИМ	-0.135

Для получения последующей оценки поведения желудочка, а также нахождения в качестве предиктора оценки состояния сосуда среди полученных корреляций касательных напряжений дальнейший интерес имеет корреляция КН ОСА и бета 2.

Выводы. Рассмотрена статистическая выборка 30 здоровых детей различного возраста, у которых с помощью прибора Acuson S 2000 определены ультразвуковые показатели сегментарной функции аорты и сонных артерий. Представлена оценка касательных напряжений на внутрисосудистой стенке, а также проанализированы корреляции между различными измеренными параметрами. Выделена корреляционная связь между касательными напряжениями в отделе сонной артерии и коэффициентом жесткости. Необходим дальнейший углубленный анализ связи данных параметров с возможностью использования в прогнозировании оценки поведения желудочка.

Библиографический список

1. *Saito M., Okayama H., Inoue K., Yoshii T., Hiasa G., Sumimoto T., Nishimura K., Ogimoto A., Higaki J.* Carotid arterial circumferential strain by two-dimensional speckletracking: a novel parameter of arterial elasticity. *Hypertens Res.* 2012;35(9):897-902.

2. *Валландер С. В.* Лекции по гидроаэромеханике. Учеб. пособие. Л., Изд-во Ленингр. ун-та, 1978. – 296 с.
3. *Гнеденко Б. В.* Курс теории вероятностей. – М.: Наука, 1988. – 448 с.

ESTABLISHMENT OF CORRELATION DEPENDENCES OF INDICATORS OF ULTRASOUND ASSESSMENT OF THE FUNCTION OF THE AORTA, CAROTID ARTERIES AND LEFT VENTRICULAR

Gomzyakov Boris I.

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

Orekhova Ekaterina N., Matanovskaya Tatyana V.

Sukhanov Federal Center of Cardiovascular Surgery, Marshal Zhukov 35, Perm,
Russia, 614013, tania-larigina@yandex.ru

Abstract. The ultrasound indicators of the segmental function of the aorta and carotid arteries of 30 healthy children of different ages are considered. The experimental data were obtained using the Acuson S 2000 apparatus (Siemens Medical System, Mountain View, USA) using the visualization of the motion velocity vector. The correlations of these indicators, including shear stresses on the intravascular wall, were analyzed, with the identification of a strong connection with the dynamic parameters of the left ventricle. The stresses are estimated within the framework of the classical Poiseuille flow problem. To calculate the relationship between the two variables, the formula for the Pearson correlation coefficient was used. To obtain a subsequent assessment of the behavior of the ventricle, as well as to find a predictor of the assessment of the state of the vessel among the obtained correlations of shear stresses, a correlation relationship between the shear stresses in the carotid artery and the stiffness coefficient was identified.

Keywords: aorta and carotid artery, ultrasound assessment of flow indicators, shear stresses, correlation of indicators, left ventricle

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕЧЕНИЯ ИНФЕКЦИИ, ВЫЗВАННОЙ ВИРУСОМ ЭПШТЕЙНА-БАРР, У ДЕТЕЙ

Дерюшева Анна Юрьевна, Пермякова Анна Владимировна

Пермский государственный медицинский университет имени академика
Е.А. Вагнера, 614000, Пермь, ул. Петропавловская 26, derucheva@mail.ru

В статье представлен опыт применения математических методов моделирования инфекционного процесса, вызванного вирусом Эпштейна-Барр (ВЭБ) у детей дошкольного возраста. Установлено, что острая инфекция, сопровождающаяся клинической симптоматикой инфекционного мононуклеоза, отличается от латентной формы инфекции количеством вируса, выделяемым в кровь и слюну. В исследовании установлено, что значения вирусной нагрузки ДНК вируса Эпштейна-Барр в слюне выше 3,6 lg копий ДНК/мл, с вероятностью более 86,0% соответствуют острым формам ВЭБ-инфекции, что позволяет предложить использование количественной полимеразной цепной реакции слюны для обнаружения ДНК вируса Эпштейна-Барр на начальном этапе диагностики, с обязательным последующим серологическим исследованием для уточнения фазы инфекционного процесса.

Ключевые слова: вирус Эпштейна-Барр, ВЭБ-мононуклеоз, вирусная нагрузка, младшие дети, математическая модель, полимеразная цепная реакция.

Введение

Одним из современных методов научного познания мира является метод моделирования. Сущность моделирования как метода исследования состоит в воспроизведении отдельных признаков изучаемого объекта. Экспериментальное моделирование предусматривает использование в качестве моделей животных и культуры клеток различных типов, выделенные из организма и поддерживаемые в жизнеспособном состоянии в искусственных условиях. В тех случаях, когда исследования в реальных условиях функционирования объекта затруднительны, на помощь приходит математика. А именно, математическое моделирование биологического объекта и событий, происходящих с ним.

В качестве биологического объекта в данном исследовании выбран вирус Эпштейна-Барр (ЭБВ) относящийся к группе γ -герпесвирусов человека 4 типа (HHV-4). Вирус Эпштейна-Барр обладает уникальными биологическими

свойствами, он способен сохраняться в памяти В-лимфоцитов [1] практически каждого человека в течение всей его жизни, и в то же время он причастен к возникновению целого ряда различных новообразований лимфоидного и эпителиального происхождения, таких как лимфома Беркитта, Ходжкина, СПИД-ассоциированные В-клеточные лимфомы, Т-лимфомы различного происхождения и др. [2]. Вирус Эпштейна-Барр убиквитарен, им инфицировано примерно 95,0% населения планеты. Для вируса характерен горизонтальный путь передачи со слюной, вирус тропен к эпителиальным клеткам ротоглотки и В-лимфоцитам. Существуют математические модели, описывающие поведение вируса в этих субстратах. Для исследований *in vivo* в качестве моделей используют животных (макака-резус), *in vitro* – рекомбинантные вирусы (штамм r Akata, сконструированный на основе дикого штамма ВЭБ). Такие модели способны воспроизводить ключевые моменты ВЭБ-инфекции человека: оральную трансмиссию вируса, активацию CD23⁺ В-клеток периферической крови, четкий серологический ответ на присутствие вирусных агентов, тенденцию вируса к латентной персистенции в периферической крови и эпителии ротовой полости [3]. В данном исследовании в качестве биологического субстрата выбрана слюна, так как, инфекционно активный вирус, выделяется именно в слюну, и, возможно процесс вирусовыделения имеет некоторые закономерности, коррелирующие с клиническими проявлениями. Практический интерес представляет определение лабораторными методами количества вируса, вирусной нагрузки (ВН) в слюне, что в сопоставлении с другими данными, может быть полезным для принятия решения о необходимости терапии.

Цель исследования

Разработка математической модели острой стадии инфекционного процесса, вызванного вирусом Эпштейна-Барр на примере инфекционного мононуклеоза, посредством определения клинически значимого количества вируса в слюне у детей.

Материалы и методы

Проспективное сравнительное клиническое исследование проведено в амбулаторных условиях в 2016-2018 гг. Основную группу исследования составили 40 детей в возрасте от 2 до 14 лет, наблюдавшиеся по поводу инфекционного мононуклеоза, вызванного вирусом Эпштейна-Барр. Диагноз считался подтвержденным, при наличии не менее 2 клинико-лабораторных признаков инфекционного мононуклеоза в сочетании с выявлением специфических антител (IgM к VCA-антигену ВЭБ) и наличием ДНК ВЭБ в

крови (критерий включения в группу исследования). Инфекционный мононуклеоз, вызванный цитомегаловирусом и вирусом герпеса 6 типа (ВГЧ-6), исключались. Группу сравнения составили ВЭБ-серопозитивные дети того же возраста – 63 человека, без клинических и лабораторных признаков инфекционного мононуклеоза и острого заболевания. Для обеих групп получили информированное согласие родителей (законных представителей) на участие в исследовании.

Этиологическая расшифровка мононуклеоза проводилась с использованием ИФА (определение в крови IgM VCA, IgG-EA и IgG EBNA к ВЭБ, IgM и IgG к ЦМВ с определением индекса avidности, IgM и IgG к ВПГ-1, IgG – к ВГЧ-6). Иммуноферментный анализ проводили с помощью стандартных тест-систем ЗАО “Вектор-Бест” (Новосибирск) согласно инструкции. Выявление ДНК ВЭБ и определение его количественного содержания проводили методом ПЦР в режиме реального времени с использованием тест-систем «Реал Бест ДНК ВЭБ» (Вектор-Бест, Россия). В качестве материала для исследования служила слюна и кровь, определяли наличие ДНК ВЭБ, ЦМВ и ВГЧ-6. Во время тестов на вирусную нагрузку определяли концентрацию вирусной ДНК. Для удобства оценки значений вирусной нагрузки интегральная шкала количественной оценки ПЦР (коп/мл) была заменена на логарифмическую – Ig/мл. Рассчитывали чувствительность (Se) и специфичность (Sp) количественного ПЦР-метода. Для построения математической модели использовали регрессионный анализ, применяли логистическую регрессию. Проверку значимости математической модели осуществляли при помощи критерия χ^2 , отвергающего нулевую гипотезу, что все оцениваемые коэффициенты равны нулю, и коэффициента R^2 , характеризующего долю вариации результативного признака у, объясняемую регрессией, в общей вариации (дисперсии). Качество созданной математической модели оценивали при помощи построения ROC-кривой и определения площади под ней. Обработку полученных результатов исследования проводили на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel 2010, STATISTICA 10, Deductor Studio, Jamovi.

Результаты исследования и их обсуждение

Клиническая картина инфекционного мононуклеоза у всех детей основной группы была типична, заболевание начиналось остро, с повышения температуры, тонзиллита и увеличения лимфатических узлов (заднешейных и переднешейных) у всех детей, умеренная гепатомегалия отмечалась у 62,0%

(25/40) пациентов, спленомегалия у 45,0% (18/40). Гиперферментемия умеренного характера (в 2-3 раза выше нормы) отмечена у 20,0% (8/40) детей, атипичные мононуклеары (более 10,0%) определялись в 62,0% (25/40) случаев. По результатам серологического обследования антитела острой фазы ВЭБ-инфекции (IgM VCA) обнаружены у 80,0 % (32 /40) детей основной группы, в группе сравнения таковых не было. ДНК ВЭБ в крови определялась у всех детей основной группы, в слюне у 95,0% (38/40) детей. Медиана количества ДНК ВЭБ в крови у детей основной группы составила 3,7 lg (4780 коп ДНК/мл). В слюне медиана ДНК ВЭБ равна 5,1 lg (142 400 копий ДНК/мл).

В группе сравнения все дети были ВЭБ-серопозитивны, что можно трактовать как латентную форму персистирующей инфекции. В этой группе в крови ДНК ВЭБ не была обнаружена, в слюне определялась у 19,0 % (12/63) детей. Медиана ДНК ВЭБ в слюне составила 2,5 lg (330 копий ДНК/мл), что достоверно ниже, чем в основной группе ($p=0,001$), все значения вирусной нагрузки были ниже 3 lg (низкая степень). Для оценки надежности метода ПЦР слюны при определении острой формы ВЭБ-инфекции рассчитали чувствительность (Se) и специфичность (Sp), которые составили $Se=95,0\%$ и $Sp=80,0\%$. Далее задача исследования состояла в нахождении оптимального «порогового» значения вирусной нагрузки в слюне, которое можно было бы использовать с целью прогнозирования острой формы ВЭБ-инфекции. Для этого построили математическую модель, используя методику регрессионного анализа, позволяющую определить наличие и характер связи между исследуемыми переменными. Получено линейное уравнение регрессии: $y = -1,8 + 0,0009 x$, где x – значение вирусной нагрузки. Модель является статистически значимой, $p=0,00$. Коэффициент детерминации (R^2) данной модели составляет 0,49. Применив рок-анализ получили матрицу неточностей, вычисленную алгоритмом, при помощи которой рассчитали чувствительность, выражающую долю пациентов с острой ВЭБИ, точно идентифицированных моделью, равную $Se = 85,0\%$, и специфичность, выражающую долю пациентов без острой ВЭБИ, точно идентифицированных моделью $Sp=90,0\%$. По полученным данным построили график (ROC-кривую) для различных возможных значений вирусной нагрузки в слюне, площадь под ROC-кривой составила $AUC=0,91$, что говорит о хорошем качестве модели.

Известно, что идеальная модель обладает 100,0% чувствительностью и специфичностью. Однако на практике добиться этого невозможно, более того, невозможно одновременно повысить и чувствительность, и специфичность модели. В нашем исследовании, при вычислении «порогового» (optimal cut-off

value) значения, было принято решение вычислить его при максимально возможном значении специфичности, позволяющем диагностировать только подлинно больных. Оптимальный порог отсечения определен графически, это то количество ДНК ВЭБ, при котором значение специфичности является максимальным из всех возможных. Таким образом, оптимальный порог для значений вирусной нагрузки ДНК ВЭБ в слюне, cut off=3980 коп ДНК/мл, или 3,6 lg. Значения чувствительности и специфичности в данной точке составляют Se=72%, и Sp=96%. Данная точка отсечения показывает, что все значения вирусной нагрузки, превышающие 3,6 lg, могут трактоваться, как острая ВЭБ-инфекция. Вероятность острой формы заболевания при этом значении составляет 86,0%, при количестве более 7000 коп ДНК/мл (3,84 lg) вероятность составляет 99,0%.

Вопрос о клинически значимых уровнях ДНК ВЭБ в биологических средах при различных заболеваниях продолжает оставаться дискуссионным, в научной литературе обсуждается как возможная клиническая польза, так и большая вариабельность межлабораторных результатов [4, 5].

Выводы

При острой ВЭБ-инфекции в форме инфекционного мононуклеоза происходит выделение вируса в биологические среды организма, такие как кровь и слюна. При этом максимальное количество вируса определяется в слюне, превышая значения 5,1 lg копий ДНК/мл, в крови количество вируса составляет в среднем 3,7 lg копий ДНК/мл.

При латентной форме ВЭБ-инфекции происходит выделение вируса в слюну у 19,0% обследуемых детей, медиана значений вирусной нагрузки составляет 2,5 lg копий ДНК/мл.

Математическая модель определяет, что значения вирусной нагрузки ДНК ВЭБ в слюне выше 3,6 lg копий ДНК/мл, с вероятностью более 86,0% соответствуют острым формам ВЭБ-инфекции, что позволяет использовать количественную ПЦР слюны для обнаружения ДНК ВЭБ на начальном уровне диагностики, с обязательным последующим серологическим исследованием для уточнения фазы инфекционного процесса.

Библиографический список:

1. *Babcock G.J., Decker L.L., Volk M., Thorley-Lawson D.A.* EBV persistence in memory B cells in vivo.// *Immunity*. 1998; 9(3):395–404.
2. *Thorley-Lawson D.A., Gross.A.* Persistence of the Epstein-Barr virus and the origins of associated lymphomas.// *N Eng J Med*. 2004; 350(13):1328–1337 .

3. *Филатова Е.Н., Уткин О.В.* Современные подходы к моделированию герпесвирусной инфекции.// Журнал Медиаль. 2014. № 2 (12). С.172-197.
4. *Jiang S.Y., Yang J.W., Shao J.B., Liao X.L., Lu Z.H., Jiang H.* Real-time polymerase chain reaction for diagnosing infectious mononucleosis in pediatric patients: A systematic review and meta-analysis.// J Med Virol. 2016 May. 88(5). С 871-76.
5. *Hayden R.T., Hokanson K.M., Pounds S.B., Bankowski M.J.* Multicenter comparison of different real-time PCR assays for quantitative detection of Epstein-Barr virus. 2008. //JCM 46. C157-163.

ABOUT THE POSSIBILITY OF PREDICTION OF THE COURSE OF INFECTION CAUSED BY EPSTEIN-BARR VIRUS IN CHILDREN

Deryusheva Anna Yu.

E.A. Vagner Perm State Medical University, 26, Petropavlovskaya st, Perm, Russia,
614000, derucheva@mail.ru

Abstract. The article presents the experience of using mathematical methods to model the infectious process caused by the Epstein-Barr virus in preschool children. It was found that acute infection, accompanied by clinical symptoms of infectious mononucleosis, differs from the latent form of infection by the amount of virus secreted into the blood and saliva. The values of the viral load of EBV DNA in saliva are higher than 3.6 lg of copies of DNA / ml, with a probability of more than 86.0% correspond to acute forms of EBV infection, which suggests the use of quantitative PCR saliva to detect EBV DNA at the initial diagnosis level, with the obligatory subsequent serological examination to clarify the phase of the infectious process.

Keywords: Epstein-Barr virus, EBV mononucleosis, viral load, younger children, mathematical model, polymerase chain reaction, recombinant interferon.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕРВЕОБРАЗНОГО ДВИЖЕНИЯ ГИБКОГО РОБОТА

Дмитрюк Анастасия Юрьевна

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина,
153003, Россия, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34, nd5544801@gmail.com

В последние несколько десятилетий активно анализируют движение роботов способных ползать внутри труб в целях технического осмотра или внутри человеческого тела для медицинских применений. В данной работе рассмотрена одна из возможных схем передвижения робота: червеобразная. Предложено моделирование и анализ данной концепции движения. В работе предложен анализ червеобразного движения с основными прогнозами в аналитической модели (трение и проскальзывание). Двумерное моделирование осуществлено в программном комплексе Mathcad, которое предполагает использование плетенной сетки и предложена возможная техническая реализация модели. Основными методами, используемыми в работе, являются методы математического моделирования в механике.

Ключевые слова: гибкий робот, червеобразное движение, волнообразное движение, моделирование, исполнительный механизм, плетенная сетка

Беспозвоночные с гибким телом (пр.: пиявки, черви и слизни) и простейшие позвоночные (пр.: змеи) успешно колонизировали морскую, наземную и подземную среды [1]. Их перемещение в пространстве, а также гибкость тела достигаются различными способами [2,3]:

- за счет разворачивания групп мышц, расположенных в упорядоченных конфигурациях – в продольном, круговом или спиральном направлениях (например, передвижение червей);
- за счет создания продольной волны (например, передвижение змей).

На сегодняшний день уже предложено большое количество разнообразных конструкций ползающих роботов (soft robotics). Некоторые из них были специально созданы для имитации животных и понимания принципов биомеханического движения, в то время как другие использовали возможности гибких тел для решения практических задач [1].

Soft robotics – новое направление в робототехнике. Это «гибкие» роботы, которых можно встроить в привычную нам инфраструктуру. Soft robotics –

гибкие не обязательно только с физической точки зрения, они также гибкие с точки зрения логической адаптивности. Их можно внедрить в любой технологический процесс, в неопределенную среду, для задач, которые нельзя решить стандартными средствами промышленной робототехники. Поэтому основным назначением soft robotics является создание гибкого и безопасного инструмента для замены человека в каких-то опасных или неопределенных ситуациях (например, когда физические возможности недостаточны).

Как было сказано ранее существует две основные схемы передвижения: червеобразное и волнообразное. В работе рассмотрено моделирование и анализ червеобразной концепции движения: разработана аналитическая модель червеобразного движения; проведено кинематическое и динамическое моделирование данного вида передвижения с использованием программного комплекса Mathcad и выбраны управляющие функции для сегментов робота; продемонстрирована возможная техническая реализация червеобразной модели в программном комплексе SolidWorks.

Принцип движения данного робота осуществляется за счет череды сокращений и удлинений продольной волны. В конструкции робота используется плетеная сетка, подобная той, что применяется в искусственных мышцах с пневматическим приводом, чтобы создать связь между осевым и радиальным движением с помощью одного исполнительного механизма. Каждый сегмент этой сетки состоит из механизма с четырьмя нитями (рисунок 1), что приблизительно соответствует способности плетеной сетки изгибаться и является важной способностью к образованию волн.

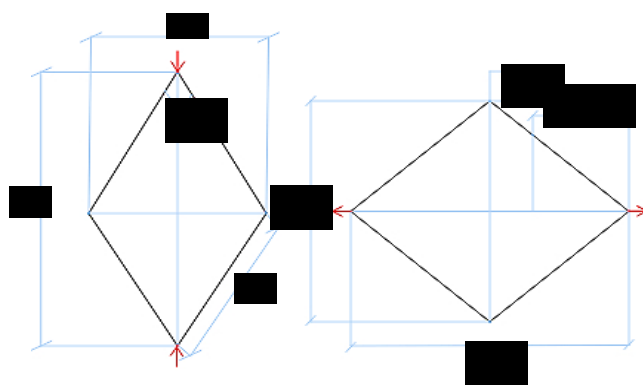


Рисунок 1 – Элемент плетеной сетки

Механическая деформация, возникающая при использовании простой плетеной сетки, может быть напрямую рассчитана из геометрии четырех пересекающихся «нитей» (см. рисунок 1). Будем предполагать, что нити жесткие, чтобы рассматривать их как механизм с четырьмя стержнями.

На рисунке 1 показано, что исполнительный механизм сжимается вдоль вертикальной длины d , изменяя ее длину на d' . Изменение вдоль горизонтальной длины e увеличится на величину, которая является функцией начальной формы диагонального элемента, определяемой здесь углом α . Проводя математические операции (используя теоремы Пифагора и синусов), получаем уравнение осевой деформации, которое является функцией исполнительного механизма c (в дальнейшем будем говорить управляющая функция) и геометрии сетки, определяемой величинами d и α (величины, задаваемые экспериментатором в начале работы):

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{\left[\frac{d}{2 \cos(\alpha/2)}\right]^2 - (d - c) - d * \operatorname{tg}(\alpha/2)}}{d * \operatorname{tg}(\alpha/2)} \quad (1)$$

Для решения уравнения (1) необходимо задать вид управляющих функций. Поскольку основное свойство червеобразного передвижения заключается в том, что создается волна из сжимающихся/расширяющихся сегментов, в качестве уравнения для управляющей функции (2) будем использовать уравнение бегущей волны.

$$c_i(t) = 1 + \cos\left[2\pi t + \frac{(i-1) * \pi}{3}\right], i = 1 \dots 7 \quad (2)$$

Кинематическое моделирование заключается в «отрисовке» элементов плетеной сетки и приведения их (с помощью управляющих функций (2)) в движение. На рис.2 представлена двумерная модель робота, после «отрисовки» сегментов робота.

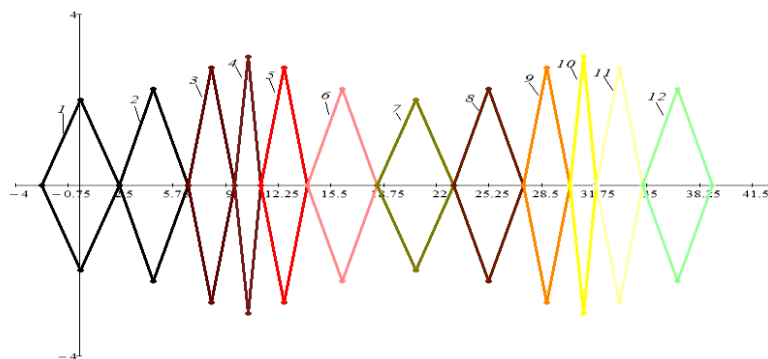


Рисунок 2 – Двумерная модель робота

При данном моделировании земля лишь условна. Здесь деформация каждого сегмента является результатом взаимодействия многих исполнительных механизмов, как в случае с истинной динамикой гибкого тела.

На этом моделирование закончено и был проведен анализ червеобразного движения, который заключается в решении обратной задачи для вычисления силы трения и анализе возможного проскальзывания прототипа.

Техническую реализацию полномасштабной концепции предлагается осуществить с использованием тормозного троса велосипеда, который играет роль возвратной пружины. Плетеная сетка робота – полая и жесткая вдоль своей оси; рекомендуется выполнять ее из оболочки тормозного троса велосипеда (рис.3). Принцип движения состоит в том, что стальные тросы последовательно вытягиваются к кулачковому механизму, приводимому в движение одним приводом на одном конце робота (см. элемент 1 на рис.3). Таким образом, движение вперед и назад контролируется одной степенью свободы с помощью одного двигателя постоянного тока. Кулачковый механизм предназначен для натяжения кабелей синусоидальной формы волны, как во времени, так и в пространстве. Точная форма волны представляет собой комбинацию синусоидальной и косинусной волн. В текущем устройстве две волны присутствуют всегда.

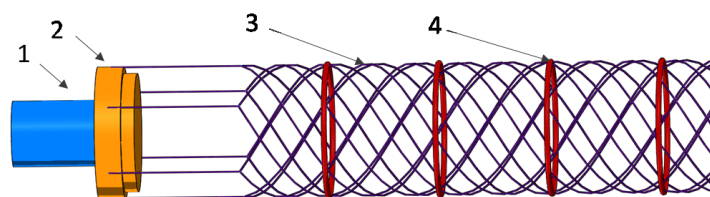


Рисунок 3 – Визуализация полномасштабного робота:
1 – мотор; 2 – кулачковый механизм; 3 – плетенная сетка;
4 – кольца приводов, интегрированные в сетку

Библиографический список

1. *Alexander R.M.*, Principles of Animal Locomotion, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, p. 88.
2. *Boxerbaum A.S., Chiel H.J., Quinn R.D.*, Continuous Wave Peristaltic Motion in a Robot. Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. 2012;302-318
3. *Zarrouk D., Sharf I., and Shoham M.*, Conditions for worm-robot locomotion in a flexible environment: theory and experiments, IEEE Transaction on Biomedical Engineering, vol. 59, no. 4, pp. 1057-1067, 2012.

MOTION MODELLING OF THE WORM ROBOT

Dmitriyuk Anastasia Y.

Ivanovo State Power University named after V.I. Lenin, 34, Rabfakovskaya st.,
Ivanovo, 153003, Russian Federation, nd5544801@gmail.com

In the last few decades, robots have been actively analyzing the movement of robots capable of crawling inside pipes for technical inspection purposes or inside the human body for medical applications. In this paper, one of the possible patterns of movement of the robot is considered: worm-like. The modeling and analysis of this concept of motion is proposed. The paper proposes an analysis of worm-like motion with the main predictions in the analytical model (friction and slippage). Two-dimensional modeling was carried out in the Mathcad software package, which involves the use of a woven mesh and a possible technical implementation of the model is proposed. The main methods used in the work are methods of mathematical modeling in mechanics.

Keywords: flexible robot, worm-like movement, wave-like movement, modeling, actuator, woven mesh

ПОСТАНОВКА ОБОБЩЁННОГО ЖИДКОСТНОГО ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА И ОЦЕНКА ЕГО ПРИМЕНИМОСТИ В РАМКАХ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Кротких Андрей Александрович, Максимов Пётр Викторович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский пр-кт 29, andrei.krotkih@gmail.com

В статье рассматриваются бинарная версия жидкостного генетического алгоритма, обобщение алгоритма на произвольное число возможных состояний переменных, описан алгоритм обобщённой версии, предложено его дальнейшее использование в рамках мультиматериальной задачи топологической оптимизации. Под мультиматериальной задачей понимается оптимизация с использованием множества материалов. Жидкостный генетический алгоритм обладает рядом свойств, в том числе, обучаемостью в ходе решения задачи оптимизации, в силу этого он был выбран как возможный вариант решения достаточно сложной задачи оптимизации. Авторами обоснована необходимость в реализации подобного алгоритма в рамках решения задачи оптимизации в силу особенностей подобных задач. Описана постановка мультиматериальной задачи топологической оптимизации, которую можно будет решить, используя полученный обобщённый генетический алгоритм.

Ключевые слова: топологическая оптимизация, генетические алгоритмы

Генетические алгоритмы имеют большую популярность в решении различных оптимизационных задач в силу своего стохастического характера. Они позволяют получать субоптимальное решение большинства NP сложных задач за малое время в сравнении с полным перебором. В основном идея генетических алгоритмов заключается в симуляции естественного отбора, где каждый индивидум представляет собой значение целевой функции для конкретной конфигурации задачи оптимизации. В популяции индивидуумов реализуются так называемые генетические операторы: скрещивание, мутация, инверсия и естественный отбор. О модификациях генетических операторов существует множество работ, которые различными способами улучшают скорость сходимости генетического алгоритма, позволяют сохранить видимость всей области допустимых значений, избегать локальных

минимумов. Таким образом, генетические алгоритмы закрепили за собой статус одних из самых простых в реализации алгоритмов для решения широкого спектра задач. Недостатком алгоритмов является «забывчивость» по отношению к истории получения решения. То есть, алгоритм не обучается, он вполне может получить такое же решение, какое получал в прошлом, и которое было отбраковано естественным отбором. А каждое такое решение требует вычисления целевой функции, выполнение которой в большинстве случаев является достаточно дорогостоящей с точки зрения вычислительных ресурсов.

Жидкостный генетический алгоритм как раз предлагает возможность учета истории решений для нивелирования слепого отбора. Впервые жидкостный генетический алгоритм (FGA) был описан авторским коллективом Ruholla Jafara-Marandi и Brian K. Smith в 2017 году [1]. В рамках этой работы авторы продемонстрировали ключевые особенности алгоритма, его отличия от стандартных алгоритмов, в частности отсутствие генетического оператора мутации и наличие нового оператора, которого больше нигде нет – «рождение». Также в FGA предложен механизм «чертежа» и эволюционной обучаемости алгоритма. Чертеж используется для указания направления эволюции, например, если заранее, известно, как примерно выглядит решение, но нужно уточнить значения, чертеж решения строится таким образом, что FGA начинает поиск вокруг этой области. Основные различия между FGA и генетическим алгоритмом продемонстрированы в работе авторов [1]. Основной проблемой использования FGA в существующем варианте является его бинарная природа. Каждая переменная оптимизации может принимать только два значения.

Для решения задачи топологической оптимизации с учётом мультиматериальности необходимо сформулировать алгоритм с учётом множественного состояния переменной оптимизации. Таким образом авторы этой статьи предлагают модифицировать несколько ключевых объектов в FGA для его обобщения. Этими ключевыми объектами являются представление конечного решения, и оператор рождения новой особи. Ниже в таблице 1 представлен вариант бинарного решения:

Таблица 1 – Бинарное представление решения

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
Вероятность	0.99	0.07	0.86	0.74	0.93	0.18	0.33	0.55	0.67
Значение	1	0	1	1	1	0	1	0	1

В таблице 1 вероятность обозначает вероятность выпадения в конкретной переменной значения «1» при генерации новой особи в операторе рождения, значение – непосредственно значение, которое будет участвовать в расчёте значения целевой функции. Таким образом, каждое решение хранит в себе не только информацию для вычисления целевой функции, но и вероятность выпадения того, или иного значения для каждой переменной. Эта вероятность определяется непосредственно в ходе оптимизационного процесса, и в этой вероятности заключается обучаемость FGA алгоритма. Авторы предлагают обобщить это представление следующим образом, представленных в таблицах 2 и 3:

Таблица 2 – Обобщённое представление решения

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
Значение	1	2	5	1	3	4	2	0	1

Таблица 3 – Обобщённое представление вероятностей переменных

Значение	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
0	0.91	0.33	0.00	0.03	0.03	0.03	0.00	0.99	0.00
1	0.03	0.50	0.00	0.91	0.03	0.03	0.99	0.01	1.00
2	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00
3	0.02	0.02	0.00	0.02	0.90	0.01	0.01	0.00	0.00
4	0.02	0.9	0.00	0.02	0.01	0.90	0.00	0.00	0.00
5	0.01	0.02	1.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Таким образом, авторы предлагают хранить вероятности для всех возможных состояний переменных и модифицировать эти вероятности с помощью оператора рождения. Стоит отметить, что подобное представление решения позволяет искусственно манипулировать значениями некоторых переменных, в частности, в рамках задачи топологической оптимизации мы можем ограничивать допустимые материалы для различных областей или определять технологические отверстия.

При решении задачи топологической оптимизации традиционно используются следующие гипотезы, изотропия материала, однородность

среды, ограниченность области. Целевой функцией в рамках задач механики деформируемого твёрдого тела является податливость объекта. Основная идея заключается во внедрении поля виртуальной плотности на всей области тела, которое определяет физические характеристики материала в каждой точке пространства. Затем область дискретизируют конечными элементами и каждому элементу назначают его значение виртуальной плотности. В одном из самых популярных методов топологической оптимизации SIMP зависимость модуля Юнга от виртуальной плотности вводится следующий образом [2]:

$$E_i = E_{\min} + p_i^\eta (E_{\max} - E_{\min}) \quad (1)$$

где E_i – модуль Юнга в i -том элементе, p_i – плотность элемента, η – коэффициент штрафа, E_{\max} – максимальный модуль Юнга, равен реальному модулю Юнга материала, E_{\min} – минимальный модуль Юнга используемый во избежание сингулярной глобальной матрицы жёсткости конечных элементов.

В данном случае авторы предлагают использовать FGA как механизм выбора E_{\max} и коэффициента Пуассона для каждого конечного элемента в соответствии с таблицами 2 и 3. Результатом подобной интеграции двух идей будет появление комбинированного алгоритма топологической оптимизации с возможностью одновременного использования множества материалов и ускоренным модифицированным жидкостным генетическим алгоритмом.

Библиографический список

1. *Ruholla Jafari-Marandi*. Fluid Genetic Algorithm (FGA) // Journal of Computational Design and Engineering, 2017.
2. *M.P. Bendsoe, E. Lund, N. Olhoff, O. Sigmund*. Topology optimization broadening the areas of application // Control and Cybernetics, 2005.

FORMULATION OF GENERALIZED FLUID GENETIC ALGORITHM AND CONSIDERATION OF USING IN SOLVING TOPOLOGY OPTIMIZATION PROBLEM

Krotkikh Andrey A., Maximov Petr V.

Perm National Research Polytechnical University, Komsomolsky Av. 29, Perm,
Russia, 614000

Abstract: The article discusses the binary version of the fluid genetic algorithm, generalizes the algorithm to an arbitrary number of possible values of variables, describes the generalized algorithm, suggests its further use in multimaterial problem of topological optimization. The fluid genetic algorithm has a number of properties, including learning ability to solve the optimization problem; therefore, it was chosen as a possible solution to a rather complex optimization problem. The authors substantiated the need to implement such an algorithm in solving the optimization problem due to the characteristics of such problems. The formulation of the multimaterial topological optimization problem is described, which can be solved using the obtained generalized genetic algorithm.

Keywords: topology optimization, genetic algorithms

ВЛИЯНИЕ РАДИУСА СКРУГЛЕНИЯ КАНАВКИ ДЛЯ СМАЗКИ НА ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПОЛИМЕРНОГО СЛОЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Лобанова Вероника Ивановна, Каменских Анна Александровна,

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29,
anna_kamenskih@mail.ru

В рамках работы выполнен анализ влияния конструкционных особенностей геометрической конфигурации углубления под смазку в виде канавки. Канавка под смазочный материал относится к плоскому слою скольжения сферической опорной части мостовых сооружений. Рассматривается влияние геометрии углубления на деформационное поведение узла в целом и параметры зоны контакта в частности. Выполнена серия численных экспериментов для четырех вариантов радиуса скругления канавки $r_k = 0,5; 1; 1,5; 2$ мм при нагрузках на стальную плиту от 5 до 90 МПа. Рассматривается неблагоприятный случай отсутствия смазки в углублении. При исследовании получено распределение параметров контакта, а также их максимальных и минимальных значений, напряженно-деформированного состояния контактного узла и изменение объема канавки под смазочный материал при разной величине давления, действующего на стальную плиту.

Ключевые слова: слой скольжения, контакт, трение, полимерные материалы, смазка.

Одним из актуальных направлений исследований в отрасли транспортно-логистических систем являются задачи об исследовании работы опорных частей пролетных строений мостов и влияния геометрической конфигурации их элементов на деформационное поведение конструкции. Активно ведутся исследования опорных частей со сферическим сегментом с прослойкой из полимерных материалов. Современные инженерные и научные разработки, направлены на рационализацию конструкции опорных частей в целом и их элементов в частности: толщины и положения слоев скольжения; угла наклона торца антифрикционных прослоек; геометрической конфигурации углублений под смазочный материал и т.д. В работе рассмотрена одна из геометрий углублений под смазку в плоском слое скольжения сферической опорной части:

исследовано влияние конструкционного оформления канавки, связанное с радиусом ее скругления вблизи основания.

Анализ влияния конструктивных особенностей геометрической конфигурации канавки под смазочный материал в полимерном плоском слое скольжения из модифицированного фторопласта [1] выполнен в рамках математической постановки, описанной в [2]. Математическая постановка учитывает большие деформаций, возникающие в слое скольжения. В рамках работы рассматривается моделирование центральной канавки плоского слоя скольжения сферической опорной части, при неблагоприятном случае отсутствия смазки в углублении на рисунке 1.

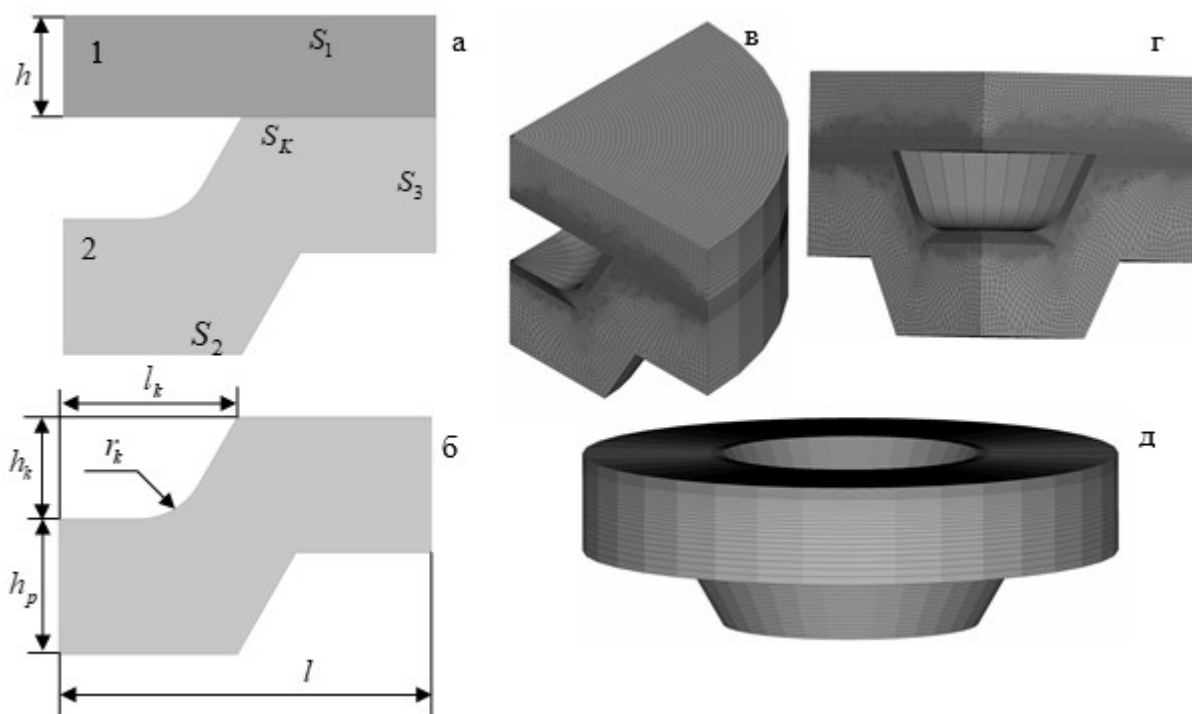


Рисунок 1 – Расчетная схема центральной канавки плоского слоя скольжения:
а – расчетная схема; б – слой скольжения с канавкой;
в, г, д – пространственная геометрия

Плоский слой скольжения деформируется частью жесткой стальной плиты постоянной нагрузкой от 5 до 90 МПа, приложенной на поверхности S_1 , на поверхности S_2 запрещены вертикальные перемещения. Задача реализована в осесимметричной постановке с использованием метода конечных элементов. Геометрические характеристики контактного узла: $h_p = 4$ мм – толщина антифрикционной прослойки; $h_k = 3$ мм – максимальная глубина канавки для смазки; $l_k = 5.27$ мм – первоначальная максимальная длина канавки; $l = 11$ мм – длина контактного узла, $r_k = 0.5 \div 2$ мм – радиус скругления канавки.

В рамках исследования получены и проанализированы контактные и деформационные характеристики: контактное давление, контактное

касательное напряжение, пластически деформации, деформирование профиля канавки.

Для примера на рисунке 2 показано деформирование профиля канавки при максимальной нагрузке 90 МПа.

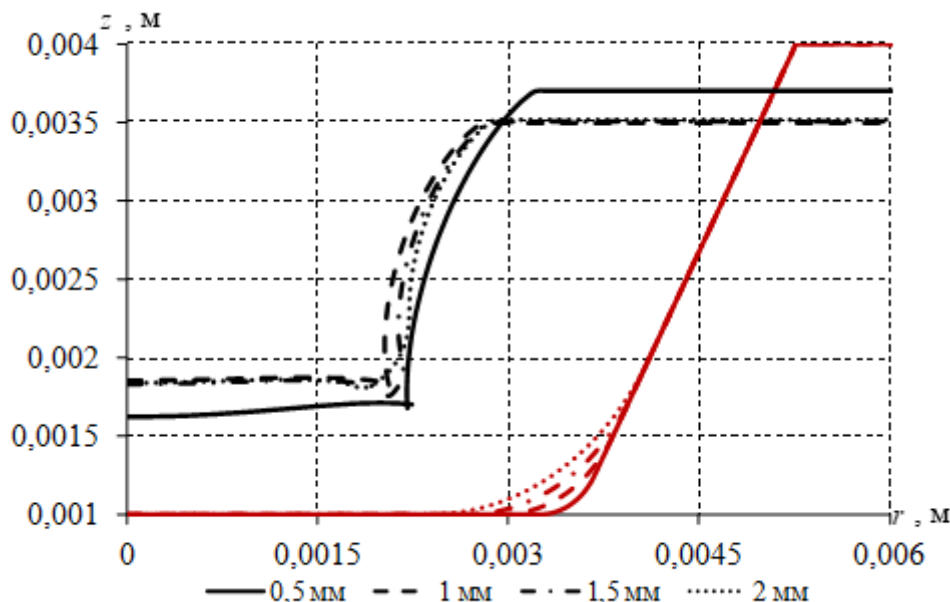


Рисунок 2 – Деформирование профиля канавки при 90 МПа:
красная линия – недеформированная геометрия канавки
черная линия – деформированная геометрия канавки

Уменьшение объема канавок для смазки с $r_k = 1 \div 2$ мм отличается незначительно, при $r_k = 0,5$ мм наблюдается наименьшее снижение объема канавки при максимальной нагрузке. При деформировании канавки жесткой стальной плитой происходит увеличение площади контактного взаимодействия плиты и слоя скольжения (рисунок 3). Изменение площади контакта после деформирования вычисляется для каждого расчетного случая в % по формуле $\Delta S = 100 - (S_{\text{конт}} - \tilde{S}_{\text{конт}}) / S_{\text{конт}} * 100$, где $S_{\text{конт}}$ – площадь первоначальной площадки контакт; $\tilde{S}_{\text{конт}}$ – площадь площадки контакт после деформирования.

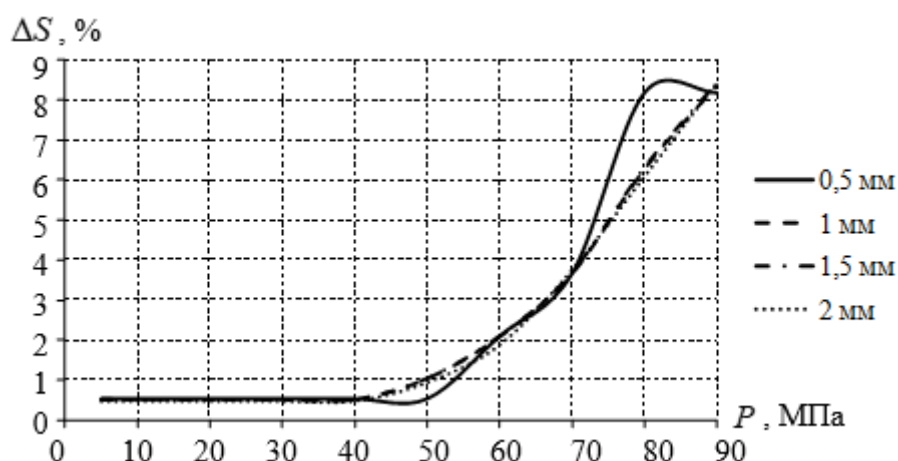


Рисунок 3 – Изменение площади контакта

Можно отметить, что увеличение площади контакта для всех моделей при нагрузках от 5 до 40 МПа незначительно меньше 0,5 %, далее происходит увеличение площади контакта при увеличении нагрузки. При нагрузках 50 МПа и более наблюдается увеличение площади контакта более чем на 2 %, что оказывает значительное влияние на максимальный уровень параметров зоны контакта и их распределение вблизи края канавки.

Библиографический список

1. Адамов А.А., Каменских А.А., Носов Ю.О. Математическое моделирование поведения современных антифрикционных полимеров // Прикладная математика и вопросы управления. – 2019. – № 4. – С. 43-56.
2. Adamov A.A., Kamenskikh A.A., Nosov Yu.O. Deformation behavior numerical analysis of the flat sliding layer of the spherical bearing with the lubrication hole // Integrated Science in Digital Age. – 2019. – P. 314-325.

INFLUENCE OF THE GROOVE FILLET RADIUS FOR LUBRICATION ON THE DEFORMATION BEHAVIOR OF THE POLYMER SLIDING LAYER

Lobanova Veronika I., Kamenskikh Anna A.

Perm national research polytechnic university, 614000, Russia, Perm, Komsomolsky
Av. 29, anna_kamenskikh@email.ru

The analysis of the structural features influence of the lubrication deepening geometric configuration in the form of a groove was carried out as part of the work. The lubricant groove refers to the flat sliding layer of bridge structures spherical bearing. The influence of the deepening geometry on the deformation behavior of the unit in general and the contact zone parameters in particular is considered. A series of numerical experiments for four variants of the radius of groove rounding $r_k = 0.5; 1; 1.5; 2$ mm is made with loads on the steel plate from 5 to 90 MPa. An unfavorable case of lack of lubrication in the groove is considered. The contact parameters distributions, as well as their maximum and minimum values, the stress-strain state of the contact unit and the change in the volume of the groove for the lubricant at different pressures acting on the steel plate were obtained in the study.

Keywords: sliding layer, contact, friction, polymeric materials, lubricant.

МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ ТОНКОЙ ПЛЕНКИ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ, С УЧЕТОМ НАЛИЧИЯ МЕЖФАЗНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Романова Марина Павловна, Бузмакова Мария Михайловна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, mromanova@psu.ru

В настоящей работе предложена континуальная перколяционная модель структуры тонкой пленки эпоксидной смолы, модифицированной углеродными нанотрубками с наличием межфазных областей. Углеродные нанотрубки представлены k -мерами (отрезками длиной k), равномерно распределенными в полимерной матрице – двумерной плоскости с наличием межфазных областей – проницаемых слоев k -меров. При моделировании использованы периодические граничные условия. Для модели разработаны эффективные алгоритмы равномерного распределения k -меров на плоскости, распределения k -меров по кластерам и поиска перколяционного кластера. Получена зависимость порога перколяции от величины проницаемого слоя k -мера.

Ключевые слова: математическое и компьютерное моделирование, полимер, углеродные нанотрубки, теория перколяции.

Введение

При добавлении наночастиц в полимерный материал, его свойства могут быть улучшены [например, 1]. Одним из нанонаполнителей, наиболее привлекающим внимание исследователей, являются углеродные нанотрубки (УНТ), которые улучшают следующие характеристики полимера: электропроводность, теплопроводность, различные механические свойства и другие [2]. Поведение таких материалов в зависимости от концентрации, ориентационном упорядочении, а также взаимодействии между частицами мало изучены. Создание полимеров, модифицированных углеродными нанотрубками, требует больших затрат временных и денежных ресурсов, поэтому возникает потребность в создании математической и компьютерной модели полимеров для теоретического исследования их структуры и свойств.

Постановка задачи

Предложена континуальная перколяционная модель структуры тонкой пленки полимера, модифицированного углеродными нанотрубками, и изучены свойства данной модели в зависимости от величины межфазного слоя. В рамках модели полимерная матрица представлена конечной двумерной системой, случайно заполненной линейными k -мерами различной длины (k – среднее значение длины, отсюда название k -мер) с заданной шириной $2r$, где радиус $r=0.5$ – углеродными нанотрубками. Межфазные области учитываются путем добавления проницаемого слоя у k -меров, где минимальная толщина этого слоя характеризуется простой химической связью C-N.

Основным результатом является определение порога перколяции – концентрации упакованных k -меров, при которой вероятность возникновения перколяционного кластера равна 0.5. Перколяционный кластер – кластер, соединяющий две противоположные стороны системы. Порог перколяции соответствует критической концентрации углеродных нанотрубок в полимере, при которой наноматериал меняет свои свойства.

Предложенная модель может быть описана следующим математическим соотношением

$$M = \langle L, p, R\{x_i, y_i, k_i, a_i\}, K, mF \rangle,$$

где L – линейный размер квадрата, p – доля площади квадрата, занимаемая k -мерами,

$R\{x_i, y_i, k_i, a_i\}$ – множество координат начал отрезков и углов их ориентации, $k_i = a \pm \sigma^2$ – длина k -меров, задаваемая математическим ожиданием и среднеквадратичным отклонением, K – количество испытаний, mF – величина проницаемого слоя k -мера.

Методы моделирования

Моделирование структуры тонкой пленки полимера проводилось методами Монте-Карло [3]. Для генерации псевдослучайных чисел использован алгоритм «Вихрь Мерсенна», который обеспечивает быструю генерацию высококачественных по критерию случайности чисел [4]. Углы и координаты начала k -меров подчиняются равномерному закону распределения, а длины k -меров – нормальному закону распределения. Для достижения нормального распределения значений длин k -меров используется преобразование Бокса-Мюллера [5].

Данные вычислительного эксперимента аппроксимируются функцией

$$P(p) = (1 + \exp(-(p - p_c(L))a))^{-1}.$$

При аппроксимации экспериментальных данных определяется порог перколяции для квадратной плоскости конечного размера L . Методика

определения порога перколяции подробно описана в [6]. Для экстраполяции значений проницаемого слоя для бесконечных систем используется скейлинговое отношение:

$$|p_c(L) - p_c(\infty)| \propto L^{-1/\nu},$$

где ν – универсальный критический показатель и равен $4/3$ в случае двумерных перколяционных задач.

Результаты и обсуждение

Для данной модели были получены результаты численного эксперимента для набора следующих входных параметров: линейный размер квадрата $L = 1000, 2000, 3000$; длины k -меров, подчиняющиеся нормальному закону распределения, $k = 100 \pm 10$ (100 – это среднее значение аспектного отношения (отношение длины к ширине) малой одностенной углеродной нанотрубки); количество испытаний $K = 100$; $mF = 2, 3, 15$. Единицей изменения для значений параметров L и k является ширина k -меров. Соотношения размера проницаемого слоя mF и размеров квадрата достаточно для получения достоверных результатов, применимых для бесконечных систем.

Была произведена экстраполяция на случай бесконечных систем для значений проницаемого слоя mF от 2 до 15. Полученные значения порога перколяции рассматриваемой системы аппроксимируются линейной функцией:

$$p_c(L) = A + BL^{-1/\nu}.$$

Порогом перколяции является значение точки пересечения аппроксимирующей прямой с осью ординат. Пример получения порога перколяции для случая бесконечной системы для $mF = 11$ представлен на рисунке 1 (в данном случае порог перколяции для бесконечной системы составляет $p_c(\infty) = 0.0364 \pm 0.0001$).

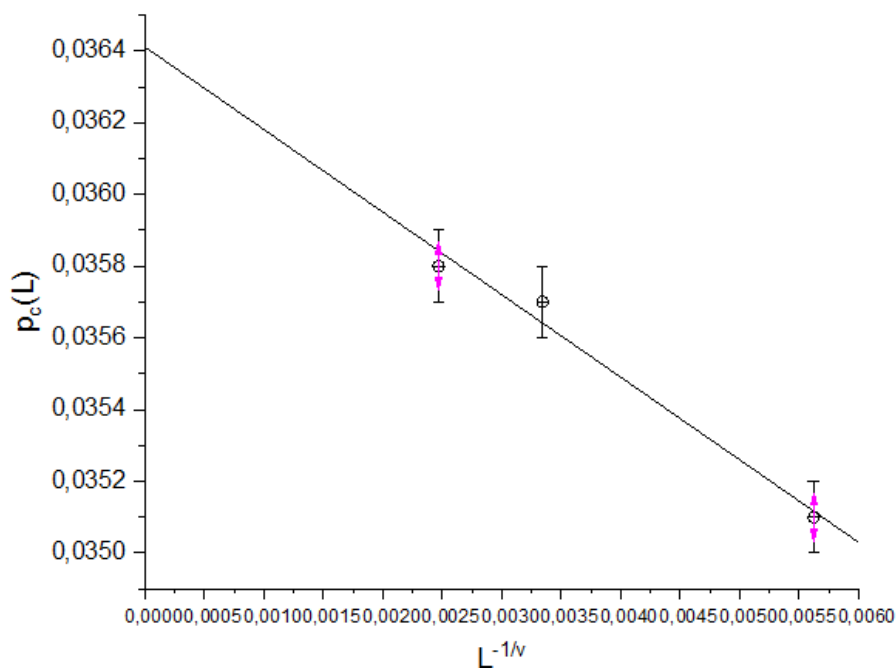


Рисунок 1 – Получение значения порога перколяции для бесконечных систем при $mF = 11$

На рисунке 2 показаны значения порогов перколяции для бесконечных систем при различных значениях пронизаемого слоя mF , полученных вышеописанной методикой. График (Рисунок 2) показывает следующее поведение: при рассматриваемых долях k -меров, при увеличении пронизаемого слоя mF порог перколяции $p_c(\infty)$ уменьшается.

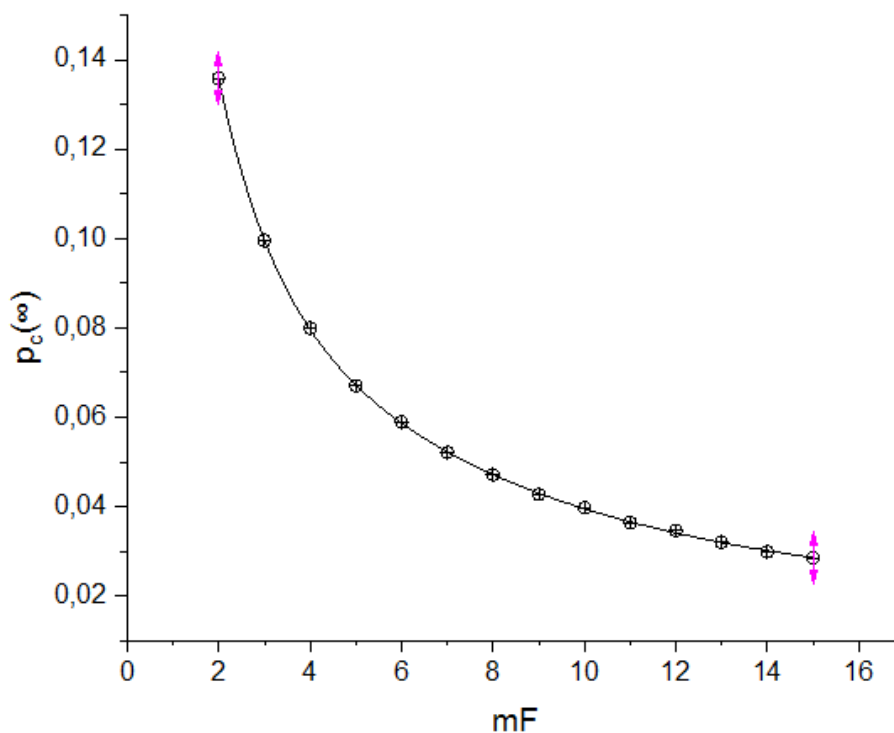


Рисунок 2 – Значения порогов перколяции при различных mF

Полученные значения порогов перколяции k -меров на плоскости для бесконечных систем в зависимости от толщины пронизаемого слоя аппроксимируются функцией вида:

$$p_c(mF) = A_1 e^{-mF} + A_2 e^{\frac{-mF}{\gamma}} + b,$$

где значения параметров равны $A_1 = 0.220 \pm 0.015$, $A_2 = 0.090 \pm 0.008$, $b = 0.019 \pm 0.002$. График показывает, что при увеличении величины пронизаемого слоя mF , порог перколяции снижается. Можно предположить, что при увеличении межфазных слоев в полимерном нанокompозите, углеродных наночастиц надо меньше для достижения критической концентрации, при которой материал способен резко менять свои свойства.

Авторами настоящей работы была предложена континуальная перколяционная модель структуры тонкой пленки полимера, модифицированного углеродными нанотрубками, с учетом наличия межфазных областей. Получена зависимость значения порога перколяции от значения толщины пронизаемого слоя k -мера. Полученные результаты являются новыми и оригинальными, а также не противоречат экспериментальным данным других исследователей, поэтому следует полагать предложенную модель адекватной и способной описывать структуру полимерного нанокompозита, модифицированного углеродными нанотрубками.

Библиографический список

1. Ю.Ю. Тарасевич. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы: Учебное пособие. М.: Елиторил УРСС. 2002. С.112.
2. А.В. Елецкий, А.А. Книжник, Б.В. Потанин, Х.М. Кенни. Электрические характеристики полимерных композитов, содержащих углеродные нанотрубки // Успехи физических наук. 2015. В.185, № 3. С.225 – 270.
3. Metropolis, N., Ulam, S. The Monte Carlo Method // Journal of the American Statistical Association. 1949. V.44, №247. P. 335-341.
4. Matsumoto M., Nishimura T. Mersenne twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator» // ACM Trans. on Modeling and Computer Simulations. 1998. V.8, №1. P. 3-30.
5. Гельгор А. Л. Методы моделирования случайных величин и случайных процессов. СПб.: Издательство политехнического университета. 2012. С. 217.
6. Бужмакова М. М. Компьютерное моделирование континуальной перколяции сфер и эллипсоидов с пронизаемыми оболочками // диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-

математических наук 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ, Астрахань, 2013. С.168.

**MODEL OF THE STRUCTURE OF A THIN FILM OF EPOXY RESIN
MODIFIED WITH CARBON NANOTUBES TAKING INTO ACCOUNT THE
PRESENCE
OF INTERPHASE REGIONS**

Romanova Marina P., Buzmakova Mariya M.

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

Abstract: The continuum percolation model of the thin film epoxy structure, modified by carbon nanotubes, with the interfacial regions presence is proposed in this paper. Carbon nanotubes are represented by k -meres (segments of length k), which are uniformly distributed in the polymer matrix – the two-dimensional plane. Interfacial regions are soft shells of k -meres. Periodic boundary conditions are used in the simulation. For the model, effective algorithms have been developed for the uniform distribution of k -meres on the plane, the distribution of k -meres into clusters and the percolation cluster search. The percolation threshold value dependence on the k -meres' soft shell value is obtained.

Keywords: mathematical and computer modeling, polymer, carbon nanotubes, percolation theory.

КОНТИНУАЛЬНАЯ ПЕРКОЛЯЦИЯ К-МЕРОВ НА ПЛОСКОСТИ

Теплых Полина Дмитриевна, Бузмакова Мария Михайловна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, pteplich@gmail.com

В настоящей работе предложена континуальная модель перколяционной системы равномерно распределенных, непересекающихся линейных k -меров (отрезков фиксированной длины) на плоскости с периодическими граничными условиями. Для построения модели разработаны эффективные алгоритмы равномерного распределения k -меров на плоскости, распределения k -меров по кластерам и поиска перколяционного кластера. Получена зависимость порога перколяции от длины k -мера.

Ключевые слова: математическое и компьютерное моделирование, линейные k -меры, теория перколяции.

Введение

Теория перколяции – очень простой, но общий, мощный и полезный инструмент для описания широкого класса явлений, которые принято называть критическими. Обычно начало теории перколяции связывают с публикацией в 1957 г. работы Бродбента и Хаммерсли [1], в которой Хаммерсли и Бродбент рассчитали функцию $\theta(p)$ – вероятность того, что газ (жидкость) пройдут через всю среду и образуют в ней газовый (жидкий) кластер макроскопических размеров (наступит так называемый «пробой» среды).

Теория имеет точки соприкосновения с рядом новых и перспективных направлений науки, например, перколяционные процессы могут приводить к самоорганизации и образованию структур, объекты, которые образуются при перколяции, являются фракталами.

Несмотря на то, что в теории перколяции получен ряд строгих результатов, а в ее применении достигнуты значительные успехи, она находится еще в процессе становления. В связи с вышесказанным возникает необходимость в дальнейших исследованиях различных моделей перколяции, для получения новых, ранее не известных фундаментальных сведений.

Постановка задачи

Предложена континуальная модель перколяционной системы равномерно распределенных линейных k -меров (отрезков фиксированной длины) на плоскости с периодическими граничными условиями. В модели k -меры не могут пересекаться и должны удовлетворять периодическим граничным условиям.

Математическую постановку настоящей модели можно представить в виде

$$M = \langle L, k, N, K, R\{x_i, y_i\}d_i \rangle, i = \overline{1, N},$$

где L – размер области, k – фиксированная длина k -мера, N – кол-во k -меров, K – количество тестов (итераций программы с одинаковыми исходными данными), x_i – координата начала k -мера по оси x , y_i – координата начала k -мера по оси y , d_i – ориентация k -мера.

Основным результатом является определение порога перколяции – концентрации упакованных k -меров, при которой вероятность возникновения перколяционного кластера равна 0.5. Перколяционный кластер – кластер, соединяющий две противоположные стороны системы. Модель может быть использована при добавлении определенных параметров для изучения множества процессов из различных областей наук.

Методы моделирования

Для равномерного распределения k -меров на плоскости был разработан эффективный алгоритм, описанный в настоящем разделе. Для анализа результатов моделирования используются методы математической статистики и теории вероятностей. Был разработан алгоритм дискретизации континуальной системы k -меров на плоскости. Для идентификации кластеров в случае континуальной перколяции k -меров на плоскости используется алгоритм Хошена–Копельмана [2]. Так же реализован алгоритм поиска перколяции.

Начало и ориентация отрезка – случайные числа, сгенерированные с помощью алгоритма «Вихрь Мерсенна» [3]. При моделировании используются периодические граничные условия по двум направлениям. Углы и координаты начала k -меров подчиняются равномерному закону распределения.

Пошаговое описание алгоритма распределения k -меров:

- Шаг 1. Генерация случайного числа – угла для текущего k -мера.
- Шаг 2. Генерация случайных x и y – координаты начала k -мера, расчет данных о линейном k -мере (координаты центра и конца).
- Шаг 3. Если в область сгенерированного k -мера не попадает ни один центр ранее упакованных k -меров, то перейти к Шагу 5, иначе к Шагу 4.
- Шаг 4. Если у сгенерированного k -мера нет пересечений с ранее упакованными, центр которых попал в область сгенерированного, то

перейти к Шагу 5, иначе увеличить число попыток на единицу и перейти к Шагу 7.

- i. Сгенерированный отрезок попарно проверяется на пересечение с массивом уже построенных отрезков.
- ii. Находится точка пересечения прямых, на которых лежат рассматриваемые два отрезка.
- iii. Проверяется принадлежность точки обоим отрезкам одновременно (если принадлежит, то отрезки пересекаются, иначе нет)

Шаг 5. Добавить k -мер в массив.

Шаг 6. Если число k -меров достигло желаемого, то перейти к Шагу 8, иначе к Шагу 1.

Шаг 7. Если число попыток ниже или равно допустимому, то перейти к Шагу 2.

Шаг 8. Конец алгоритма.

Областью вокруг k -мера был выбран эллипс с координатами центра в точке центра k -мера, углом поворота равным углу поворота k -мера, большой полуосью равной $1,5 * length$ и малой полуосью равной $length$, где $length$ – длина k -мера.

Условие попадания k -мера в область:

$$\frac{((x - x_0) \cos \alpha + (y - y_0) \sin \alpha)^2}{(1.5 * length)^2} + \frac{(-(x - x_0) \sin \alpha + (y - y_0) \cos \alpha)^2}{(length)^2} < 1,$$

где x_0, y_0 – центр сгенерированного k -мера, α – его угол поворота.

Пошаговый алгоритм дискретизации:

Шаг 1. Определение количества проверяемых в k -мере точек и расстояния между ними.

Шаг 2. Создание двумерного массива для дискретизации.

Шаг 3. Если количество упакованных k -меров меньше желаемого, то переход к Шагу 4, иначе к Шагу 8.

Шаг 4. Добавление очередного k -мера.

Шаг 5. Если рассмотрены не все проверяемые точки k -мера, то переход к Шагу 6, иначе к Шагу 3.

Шаг 6. Выбор очередной точки k -мера.

Шаг 7. Определение по координатам точки к какому элементу массива относится точка, отметить элемент занятым. Переход к Шагу 3.

Шаг 8. Конец алгоритма.

Для определения количества проверяемых точек k -мера автор работы предлагает использовать следующее отношение: $point\ sCount = \frac{area}{length}$ где $area$ – размер исследуемой области, $length$ – длина k -мера. Размер ячейки сетки было

решено брать равным расстоянию между проверяемыми точками:

$$fromPoint ToPoint = \frac{length}{point sCount}.$$

Пошаговый алгоритм поиска перколяции:

- Шаг 1. Если просмотрены не все кластеры из списка, то переход к Шагу 2, иначе к Шагу 6 и считать, что перколяции нет.
- Шаг 2. Выбор очередного кластера из списка кластеров.
- Шаг 3. Если просмотрены не все строки сетки, то перейти к Шагу 4, иначе к Шагу 6 и считать, что перколяция есть.
- Шаг 4. Выбор очередной строки сетки.
- Шаг 5. Если есть хотя бы одна ячейка выбранного кластера в просматриваемой строке, то перейти к Шагу 3, иначе к Шагу 1.
- Шаг 6. Конец алгоритма.

Результаты и обсуждение

Было проведено компьютерное моделирование по определению значения порога перколяции при различных значениях k . Для каждого значения длины были определены пороги перколяции для систем конечных размерностей. Далее по полученным значениям порога перколяции для систем конечных размерностей были определены пороги перколяции для случая бесконечных систем.

Например, было получено значение порога перколяции для входных параметров: размер исследуемой области $L = 100$, длина k -меров – 10, количество тестов – 100, количество k -меров варьируется от 180 до 480. Для каждого набора входных данных были вычислены концентрация p и вероятность возникновения перколяционного кластера $P(p)$ (по 100 тестам). Порог перколяции для заданного набора исходных данных $p_c = 0.253 \pm 0.001$ (см. Рисунок 1 **Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Для данных входных параметров был проведен численный эксперимент с помощью программы, описанной в работе [4] для проведения сопоставления результатов, который показал порог перколяции $p_c = 0.251 \pm 0.001$. Совпадение можно считать хорошим в рамках погрешности эксперимента.

Также для $k = 10$ были получены значения порога перколяции для $L = 50$ и 200. При этом полученные пороги перколяции равны ($p_c = 0.283 \pm 0.001$ и $p_c = 0.213 \pm 0.001$ соответственно). С помощью полученных значений порога перколяции было определено значение порога перколяции для случая бесконечной системы, скейлинг смотреть на рисунке 2.

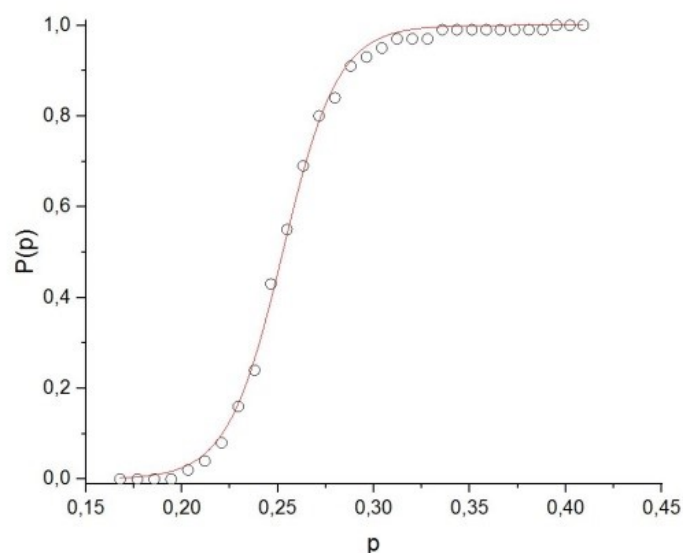


Рисунок 1 – Вероятность возникновения перколяционного кластера при различных концентрациях для $L = 100$, $k = 10$

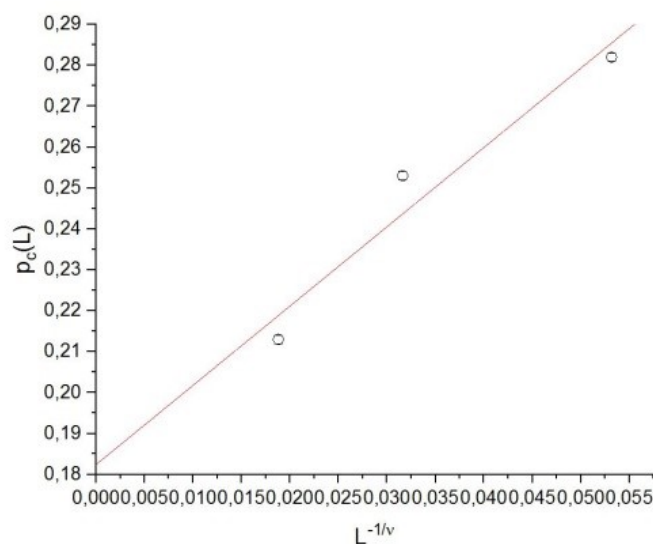


Рисунок 2 – Определение порога перколяции $k = 10$

Аналогично, были получены значения порога перколяции для размера исследуемой области – 500, 1000, 2000; длина k -меров – 50 и 100, количество тестов – 100. При этом полученные пороги перколяции для $k = 50$ равны $p_c = 0.251 \pm 0.001$, $p_c = 0.214 \pm 0.001$, $p_c = 0.183 \pm 0.001$ для $L = 500, 1000, 2000$ соответственно. Для $k = 100$ равны $p_c = 0.286 \pm 0.001$, $p_c = 0.248 \pm 0.001$, $p_c = 0.0211 \pm 0.001$ для $L = 500, 1000, 2000$ соответственно.

Определение порога перколяции для случая бесконечной системы для $k = 50$ и 100 приведено на рисунках 3,4.

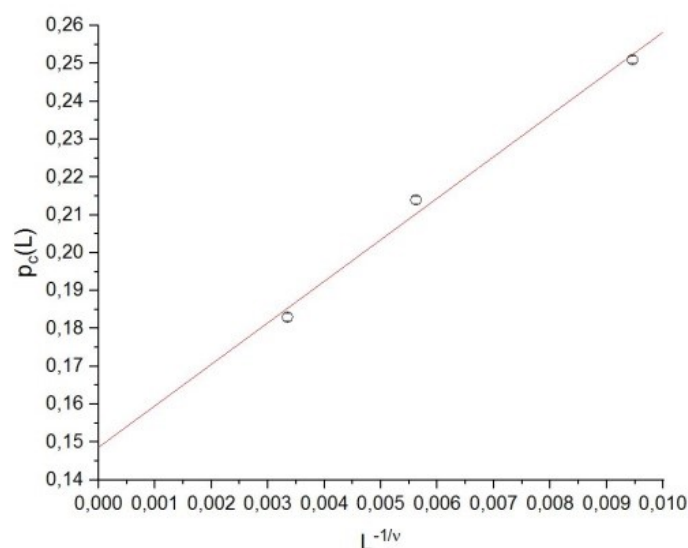


Рисунок 3 – Определение порога перколяции $k = 50$

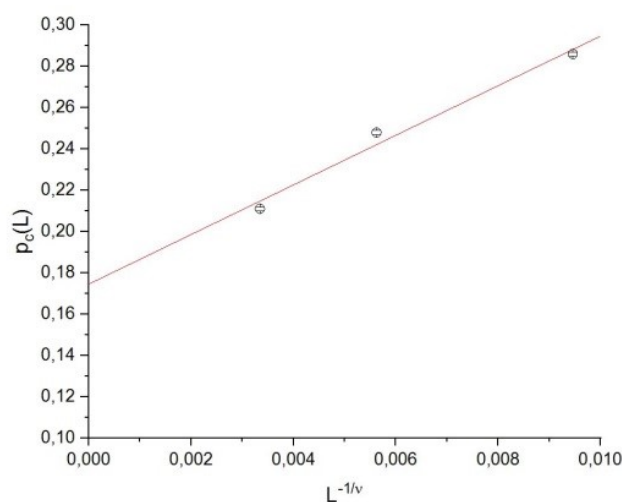


Рисунок 4 – Определение порога перколяции $k = 100$

Пороги перколяции для случая бесконечных системы для $k = 10, 50, 100$ соответственно равны $p_c = 0.182 \pm 0.001$, $p_c = 0.149 \pm 0.001$, $p_c = 0.175 \pm 0.001$.

Из полученных значений какие-либо выводы делать рано, однако можно предположить, что поведение порога перколяции в континууме при увеличении длины k -мера аналогично поведению порога перколяции на решетках: что при увеличении длины k -мера до определенного значения порог перколяции снижается, а далее начинает снова увеличиваться.

Библиографический список

1. *Broadbent S. K., Hammersley J. M.* Percolation process I. Crystals and mazes. // *Proc. Camb. Phil. Soc.* 1957. Vol. 53, P. 629–643.
2. *Hoshen J., Kopelman R.* Percolation and cluster distribution. I. Cluster multiple labeling technique and critical concentration algorithm // *Phys. Rev.* 1976. P. 3438 – 445.
3. *Matsumoto M., Nishimura T.* Mersenne twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator» // *ACM Trans. on Modeling and Computer Simulations.* 1998. V.8, №1. P. 3-30.
4. *Романова М. П.* Моделирование структуры тонкой пленки полимера, модифицированного углеродными нанотрубками // выпускная квалификационная работа бакалавра по направлению «Прикладная математика и информатика». 2019. 62 с.

MODEL OF THE STRUCTURE OF A THIN FILM OF EPOXY RESIN MODIFIED WITH CARBON NANOTUBES TAKING INTO ACCOUNT THE PRESENCE OF INTERPHASE REGIONS

Teplykh Polina D., Buzmakova Mariya M.

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

Abstract: The continuum percolation model of linear k -meres (segments of fixed length) on a plane with periodic boundary conditions is proposed. k -mere are uniformly distributed and are not intersected. For the model, efficient algorithms for the uniform distribution of k -meres on the plane, the distribution of k -meres into clusters and the percolation cluster search have been developed. The percolation threshold dependence on the k -mer's length is obtained.

Keywords: mathematical and computer modeling, polymer, linear k -mer, percolation theory.

**ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННОЕ БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СЕГМЕНТОВ
ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ЧЕЛОВЕКА**

Хорошев Денис Владимирович, Ильялов Олег Рустамович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, horosh-den@mail.ru

Устюжанцев Николай Егорович

ГОУ ВПО «Пермский государственный медицинский университет
им. Акад. Е.А. Вагнера», 614000, Россия, г. Пермь, Петропавловская, д. 26,
nustyuzhan@mail.ru

Боль в спине встречается в виде ноющего, резкого, колющего ощущения, которое беспокоит более 50% жителей мира. Врачебная практика показывает, что почти в половине случаев боль в поясничном отделе позвоночника связана с грыжей межпозвоночного диска L4–L5. Цель работы – используя методы биомеханического моделирования, показать, что при появлении дегенеративных изменений в позвоночно-двигательном сегменте и подвывихе фасеточных суставов источником боли является чрезмерное воздействие на нерв Люшко. Построена объемная пороупругая модель позвоночно-двигательного сегмента L4–L5, состоящая из позвонков и межпозвоночного диска L4–L5, который включает в себя пульпозное ядро, фиброзное кольцо и замыкательные пластинки. На верхнюю часть тела позвонка L4 действует давление величиной 2 МПа, что соответствует нагрузке в 400 кг. На границе пульпозного ядра приложено внутридисковое давление, равное 330 кПа. Поставленная задача решена с использованием пакета Ansys. Получены распределения перемещений, напряжений и деформаций.

Ключевые слова: позвоночно-двигательный сегмент, пороупругая модель, поясничный отдел, фасеточный сустав, межпозвоночный диск.

Боль в спине является актуальной и важной проблемой в области здравоохранения, на лечение которой тратится значительное количество денежных средств. Её появление может быть разовым или носить эпизодический характер. Известно, что более 80% населения земного шара испытывают боли в спине с различной степенью интенсивности [1, с. 8]. В исследованиях [1, 2] показано, что болевые ощущения в поясничном отделе

являются существенной причиной утраты работоспособности населения мира, что непосредственно влияет на качество жизни человека в обществе.

В позвоночнике выделяют прямой и косвенный вид боли. К прямому относятся остеопороз и переломы позвонков, где причиной боли является позвоночник. Косвенная боль в позвоночнике возникает от заболеваний почек, желчного пузыря и других органов. Отметим, что под определением «боль» подразумевается узкий медицинский малоизвестный термин «гиперрецепция» [5, с. 547]. Гиперрецепция – это повышенная возбудимость рецепторов и проводников. Врачебная практика показывает, что почти в половине случаев боль в поясничном отделе позвоночника неразрывно связана с грыжей межпозвоночного диска L4–L5.

При сильных и непреходящих болевых ощущениях часто рекомендуется оперативное вмешательство, заключающееся в удалении грыжи межпозвоночного диска. Однако не всегда удаление грыжи приводит к полному исчезновению болевого синдрома. С нашей точки зрения это связано непосредственно с перераспределением нагрузки в позвоночно-двигательном сегменте при дегенеративном уменьшении высоты межпозвоночного диска. Вследствие этого при высокой кратковременной, длительной статической или переменной нагрузках происходит подвывих фасеточных суставов. В итоге деформация суставных сумок и снижение площади контакта между отростками приводят к увеличению давления на отростках и вынуждают близлежащие барорецепторы или афферентные рецепторы подавать сигналы о наличии боли в сегменте. Так же одновременно происходит нарушение питания поверхностей суставов и начинается протекать процесс инволюции хряща по причине перегрузок. Отметим, что подвывих фасеточных суставов имеет место не только у людей с грыжей диска, но и при возрастном изменении морфометрических параметров и свойств межпозвоночного диска.

Цель работы – используя методы биомеханического моделирования, показать, что при появлении дегенеративных изменений в позвоночно-двигательном сегменте и подвывихе фасеточных суставов источником боли является чрезмерное воздействие на нерв Люшко. Анализ литературы по моделированию межпозвоночного диска L4–L5 [4, с. 359] показал, что теория пороупругости является оптимальной и актуальной для описания поведения диска. Поэтому в исследовании представлено построение объемной пороупругой конечно-элементной модели позвоночно-двигательного сегмента L4–L5.

Модель получена по данным пациента возраста 22 лет (набор снимков компьютерной томографии с шагом 0.6 мм) и обработана в программном пакете MIMICS. Материал считается изотропным. Физические характеристики

соответствуют данным исследования [3, с. 1983]. Модель состоит из позвонков, межпозвоночного диска L4–L5, который включает в себя пульпозное ядро, фиброзное кольцо и замыкательные пластинки. Фиброзное кольцо включает в себя набор колец, состоящих из 22 эластических волокон и 21 матрикса. Внутридисковое давление составляет 330 кПа. На верхнюю часть тела позвонка L4 на поверхности действует давление величиной 2 МПа, что соответствует нагрузке в 400 кг, а нижняя часть тела позвонка L5 закреплена. Все тела склеены между собой. Трение между суставными отростками позвонков отсутствует.

Поставленная задача решена с использованием пакета Ansys. Получены распределения перемещений, напряжений и деформаций. Так же решена отдельно задача в первом приближении по моделированию фасеточного сустава с учетом синовиальной жидкости. В дальнейшем в модели позвоночно-двигательного сегмента будут учтены фасеточные суставы, состоящие из капсулы, синовиальной жидкости и хрящевых образований на концах отростков позвонков.

Библиографический список

1. *Левин О.С.* Боль в спине в общей клинической практике. М.: Умный доктор, 2018. 80 с.
2. *Парфенов В.А., Исайкин А.И.* Боль в нижней части спины: мифы и реальность. М.: ИМА-ПРЕСС, 2016. 104 с.
3. *Jamie R.W., Raghu N.N., Gunnar B.J.* Inclusion of regional poroelastic material properties better predicts biomechanical behavior of lumbar discs subjected to dynamic loading // *Journal of Biomechanics*. 2007. Vol. 40. P. 1981-1987.
4. *Khoroshev D.V., Ilyalov O.R., Ustuyzhantsev N.E., Nyashin Y.I.* Biomechanical modelling of the intervertebral disc of the human lumbar spine – the problem current state // *Russian Journal of Biomechanics*. 2019. Vol. 23. №. 3. P. 351-361.
5. *Khoroshev D.V., Ilyalov O.R., Ustuyzhantsev N.E., Nyashin Y.I.* Personalized geometry digitization technique of the vertebromotor segment L4–L5 in vivo // *Russian Journal of Biomechanics*. 2019. Vol. 23. №. 4. P. 547-554.

PERSONALIZED BIOMECHANICAL MODELING OF THE HUMAN LUMBAR SPINE SEGMENTS BEHAVIOR

Khoroshev Denis V., Ilyalov Oleg R.

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614990, horosh-den@mail.ru

Ustyuzhantsev Nikolai E.

Perm State Medical University named after Academician E.A. Wagner, Petropavlovskaya Av. 26, Perm, Russia, 614000, nustyuzhan@mail.ru

Back pain worries more than 50% of the world's population. Medical practice shows that in almost half of cases, pain in the lumbar spine is associated with a herniated disc L4–L5. The work aim is to show using the biomechanical modelling methods that with the appearance of degenerative changes in a vertebromotor segment and subluxation of facet joints, the pain source is excessive impact on the Lyushko nerve. The volume poroelastic model of a vertebromotor segment L4-L5 consisting of vertebrae, an intervertebral disk L4–L5, which includes a pulpous nucleus, a fibrous ring and endplates, is constructed. On the upper part of the body of vertebra L4 is affected by a pressure of 2 MPa, which corresponds to a load of 400 kg. Also, an intradiscal pressure is applied along the edges of a pulpous nucleus, which is equal to 330 kPa. The task is solved using Ansys. Distributions of displacements, stresses and strains are obtained.

Keywords: vertebromotor segment, poroelastic model, lumbar region, facet joint, intervertebral disc.

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АДАПТАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ В ПРОСТРАНСТВАХ ИЛЬЮШИНА

Чикова Татьяна Николаевна, Тверье Виктор Моиссеевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, 29,
ChikovaTN@gmail.com

Большинство задач биомеханики требует для решения междисциплинарного подхода. Моделирование процесса адаптации (перестройки) трабекулярной костной ткани не является исключением и предполагает построение алгоритма, основанного на законах механики и знаниях анатомии человека. С развитием инструментов численного анализа стало возможно применение таких моделей для решения задач, обладающих сложной геометрией и структурой. Задача о перестройке образца трабекулярной костной ткани под действием сжимающих сил, рассматриваемая в данной работе, ранее была решена полуаналитическим методом [1]. На ее примере показана история формирования структуры и пористости кости, реализуемое напряженно-деформированное состояние на разных этапах адаптационного процесса. Проведено сравнение результатов двух феноменологических моделей с целью выбора наилучшей для дальнейшего решения практических задач.

Ключевые слова: трабекулярная костная ткань, тензор структуры, *Wolff law*.

Известно, что костная ткань человека в норме адаптирует свою внутреннюю структуру к внешним силам, действующим на кость (*Wolff law*) [1]. Согласно одной из теорий, адаптация происходит вследствие изменения напряженного состояния [1]. Для описания данного изменения, в работах [1–3] была предложена математическая модель, связывающая ориентацию костных трабекул при помощи тензора структуры, с главными направлениями тензора напряжений. В ней предложена система кинетических уравнений для каждой компоненты тензора. В каждом уравнении имеется как минимум две материальные константы, которые необходимо уметь определять. В данной работе предложен вариант данной модели [4], в которой адаптация костной ткани описывается одним математическим соотношением (1), единственная константа которого определяется из ограничения, налагаемого на длительность перестройки костной структуры.

$$\gamma = \gamma_0 e^{-at} \quad (1)$$

Кинетическое уравнение (1) определяет скорость изменения угла между пятимерными векторами структуры и напряжения, построенные в девиаторном пространстве Ильюшина [5].

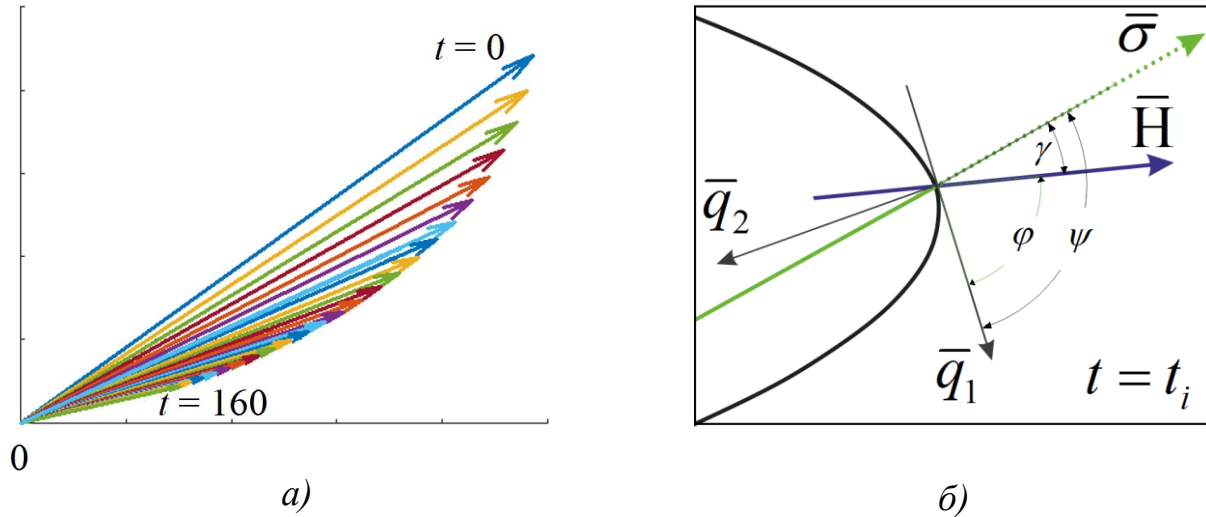


Рисунок 5 – Кривая нагружения (а) и ее фрагмент, на котором показано положение векторов структуры \bar{H} и напряжения $\bar{\sigma}$, находящихся в соприкасающейся плоскости кривой, образованной векторами касательной и главной нормали в момент времени t_i (б)

Данное уравнение в явной форме отражает закон *Wolff*, выполнение которого невозможно наблюдать *in vivo* в течение всего периода адаптации вследствие значительной лучевой нагрузки, создаваемой аппаратами для проведения томографии структуры кости [6]. Отсутствие возможности наблюдения за ходом перестройки костной структуры порождает необходимость создания математической модели, позволяющей наблюдать историю адаптации *in silico*. С помощью вычислительного алгоритма можно заранее узнать, как повлияет то или иное врачебное вмешательство на кость пациента или определить усилие, необходимое для создания желаемого результата. К таким результатам можно отнести безопасное перемещения зуба с целью исправления неправильного прикуса.

Предыдущие исследования [1–3] показали, что решение системы из 6 уравнений, заданных для каждого рассматриваемого участка костной ткани, требует значительных вычислительных ресурсов для решения задачи адаптации. С помощью предложенной модификации авторы планируют оптимизировать модель перестройки, достигая необходимой точности при меньшем времени решения.

В работе проводится сравнение полученных результатов на примере задачи о перестройке образца трабекулярной костной ткани под воздействием

постоянной нагрузки. В дальнейшем, авторами планируется применить полученные результаты для решения практических задач ортодонтии.

Библиографический список

1. *Cowin S.C.* Wolff's law of trabecular architecture at remodeling equilibrium // *J. Biomech. Engineering*. 1986. V. 108. P. 83–88.
2. *Киченко А.А.* Перестройка структуры губчатой костной ткани: математическое моделирование // *Российский журнал биомеханики*. 2019. Т. 23. № 3. С. 336–358.
3. *Чикова Т.Н., Киченко А.А., Тверье В.М., Няшин Ю.И.* Моделирование перестройки трабекулярной костной ткани в ветви нижней челюсти человека // *Российский журнал биомеханики*. 2018. Т. 22. № 3. С. 292–300.
4. *Тверье В.М.* Кинетические уравнения перестройки трабекулярной костной ткани в пространстве Ильюшина // *Российский журнал биомеханики*. 2019. Т. 23. № 2. С. 293–301.
5. *Ильюшин А.А.* Пластичность. Основы общей математической теории. М.: Изд-во АН СССР. 1963. 271 с.
6. *Mustafy T., Benoit A., Londono I., Moldovan F., Villemure I.* Can repeated in vivo micro-CT irradiation during adolescence alter bone microstructure, histomorphometry and longitudinal growth in a rodent model? // *PLoS ONE*. 2018, V. 13 (11). P. 1–25.

GEOMETRIC REPRESENTATION OF THE BONE TISSUE ADAPTATION IN THE ILYUSHIN SPACES

Chikova Tatyana, N., Tverier Victor M.

State National Research Polytechnic University of Perm, Komsomolsky Av. 29, Perm,
Russia, 614990, ChikovaTN@gmail.com

Abstract: Most biomechanics problems require an interdisciplinary approach to solve. Modeling the process of trabecular bone tissue adaptation (remodelling) tissue is not exception and involves the construction of an algorithm based on the laws of mechanics and knowledge of human anatomy. With the development of tools for numerical analysis, it became possible to use such models to solve problems with complex geometry and structure. The problem of remodelling of a sample of trabecular bone tissue under the action of compressive forces, considered in this paper, was previously solved by the semi-analytical method [1]. This example shows the history of the formation of bone structure and porosity, the stress-strain state at different stages of the adaptation process. The results of two phenomenological models are compared in order to choose the best for further solving practical problems.

Keywords: trabecular bone tissue, fabric tensor, Wolff law.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТЫ НА УРОКЕ ГЕОМЕТРИИ ПРИ ПОМОЩИ ПРОГРАММЫ INSPIRATION MAPS

Абдуллина Ульяна Владимировна

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина, 620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира д. 19, ulya-a@bk.ru

Шеремет Галина Геннадьевна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 614000,
Россия, г. Пермь, ул. Пушкина, д. 44, sheremet@pspu.ru

В данной статье рассматриваются основные проблемы, возникающие у учеников при изучении геометрии в старшей школе. Дано определение «интеллект-карте» и её различные вариации перевода. Представлены платные, бесплатные и on-line программы для построения интеллект карт. Приведены преимущества и недостатки построения карт в Inspiration Maps. Кроме этого, в данной программе подробно описан алгоритм построения карты на основе учебника «Геометрии 7-9» Л.С. Атанасяна по теме: «Многогранники». В результате было выделено 4 этапа построения, и два уровня организации данных. К первому относится: «выпуклые» и «невыпуклые» многогранники. Ко второму: параллелепипед, призма, пирамида, тела вращения. А к третьему уровню относятся: шар, цилиндр, конус.

Ключевые слова: геометрия, интеллект-карта (Mind Map), Тони Бьюзен, Inspiration Maps, многогранники, построение.

Геометрия, одна из сложных дисциплин для усвоения и изучения школьниками. На уроках ученики часто сталкиваются с такими проблемами, как: невозможность запомнить большие объёмы информации, быстро восстановить способы решений, бессистемность полученных знаний и навыков; сложность восприятия математической абстракции.

Для решения данных проблем необходимо сделать обучение геометрии осмысленным: показать целостную картину, которая может быть выстроена посредством изучения предмета, а затем уже строить систему образовательных задач и организовывать изучение дисциплины таким образом, чтобы учащиеся могли легко отобразить её содержание [3, с. 140].

Одним из действенных методов решения обозначенных вопросов, является построение интеллект-карт (Mind Map). Данный термин в переводе с английского имеет множество значений: «карта памяти», «карта разума»,

«интеллект-карта», «карта ума»», «ментальная карта». Методика была разработана британским психологом Тони Бьюзенем и опубликована в 1974. В её основе лежит наука мнемоника – техника запоминания.

Интеллект-карта – это наглядный, графический инструмент мышления, который может применяться по отношению ко всем когнитивным функциям, особенно к памяти, к творчеству, учёбе и всем формам мышления [2, с.59].

Ментальные карты используют десятки людей в организациях самых разных стран. Эти продукты помогают им планировать, принимать творческие решения, проводить презентации, организовывать совещания, конспектировать. Среди тех, кто применяет интеллект-карты: BBC, «Microsoft», «Walt Disney», «Nissan», «Oxford University Press», Сингапурский институт менеджмента, «Pizza Hut», «Intel», IBM и другие [2, с. 318].

Интеллект-карту, можно нарисовать вручную или с использованием различных компьютерных программ. Среди них:

1. бесплатные: FreeMind, XMind, The Personal Brain, Free Mind Map-Freeware.
2. платные: Mindjet MindMeneger, ConceptDraw, Mind Map, iMaindMap, Inspiration Maps.
3. on-line: MindMeister, Mindomo, Basic, Mind42 и др.

Для реализации наших целей была выбрана бесплатная версия программы по построению ментальных карт – Inspiration Maps. Программное обеспечение Inspiration было разработано в конце 80-х годов на основе визуального мышления. И предполагает работу с данными в виде схем, диаграмм, карт.

Преимущества и недостатки данной программы представлены ниже (см. таблицу 1).

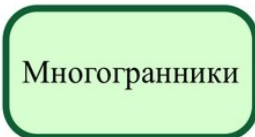
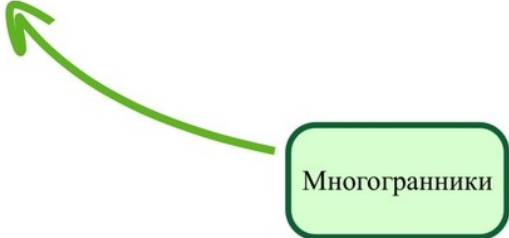
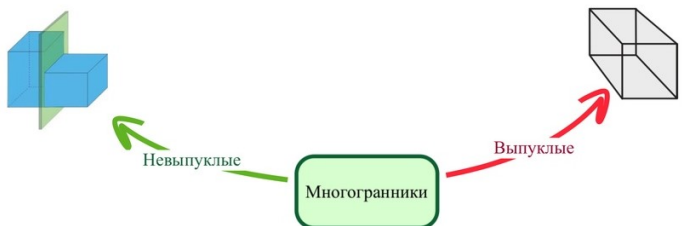
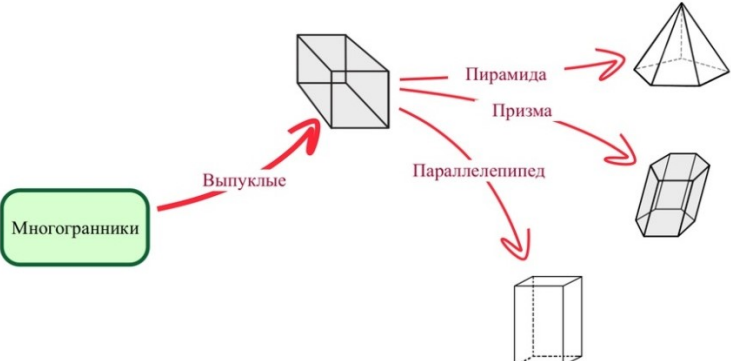
Таблица 1 – Преимущества и недостатки программы Inspiration Maps

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> • удобный интерфейс; • наличие основных функциональных возможностей для построения интеллект-карт; • графические элементы высокого качества; • наличие «базовой» коллекции изображений; • возможность сохранять карту в формате pdf. 	<ul style="list-style-type: none"> • невозможность прикреплять документы и файлы к ветвям; • программа разработана только для работы с iPhone или iPad.

«Начальные сведения из стереометрии» – последняя глава для изучения в 9 классе на уроке геометрии [1, с. 300]. Она состоит из двух разделов: «Многогранники», «Тела и поверхности вращения». Материал для изучения объёмный и требует работы с большим количеством информации. Кроме этого, данная глава является основой для изучения стереометрии в 10-11 классах, а по тематическому планированию на прохождение данной темы отводится только 4 часа. (см. таблицу 2).

В работе [2, с. 28] описан алгоритм построения ментальной карты на бумажном носителе. С помощью программы Inspiration Maps, представим поэтапный макет создания карты в электронном виде.

Таблица 2 – Создание ментальной карты в Inspiration Maps

Этап создания	Иллюстрация
<p><i>Этап 1.</i> Ментальная карта, посвящена «многогранникам». Следовательно, в центр помещаем данное понятие и выделяем его замкнутым контуром или ярким цветом.</p>	
<p><i>Этап 2.</i> Проводим первую из жирных линий, расходящихся от центрального образа в разные стороны. Рисуем линии изогнутыми, а не прямыми, так как лучше запоминаются мозгом. <i>Каждая стрелка в программе Inspiration Maps направлена на объект (овал, прямоугольник), в зависимости от выбора фигуры.</i></p>	
<p><i>Этап 3.</i> Многогранники делятся на два вида: «выпуклые и невыпуклые». Проводим две ассоциативных стрелки. Рядом с каждой из ветвей размещаем изображение, соответствующее содержанию текста. Они относятся к ветвям <i>первого уровня</i>.</p>	
<p><i>Этап 4.</i> От ветвей первого уровня, следуют ассоциативные <i>ветви второго</i>. Они становятся более тонкими, и окрашены в один цвет. Их три, так как к выпуклым многоугольникам относятся: параллелепипед, пирамида и призма. «Невыпуклые многоугольники» не рассматриваем, так как они не представлены в тексте учебника. Продолжаем процесс добавления ассоциативных ветвей, пока на ментальной карте не будут отражены основные понятия по данному разделу.</p>	

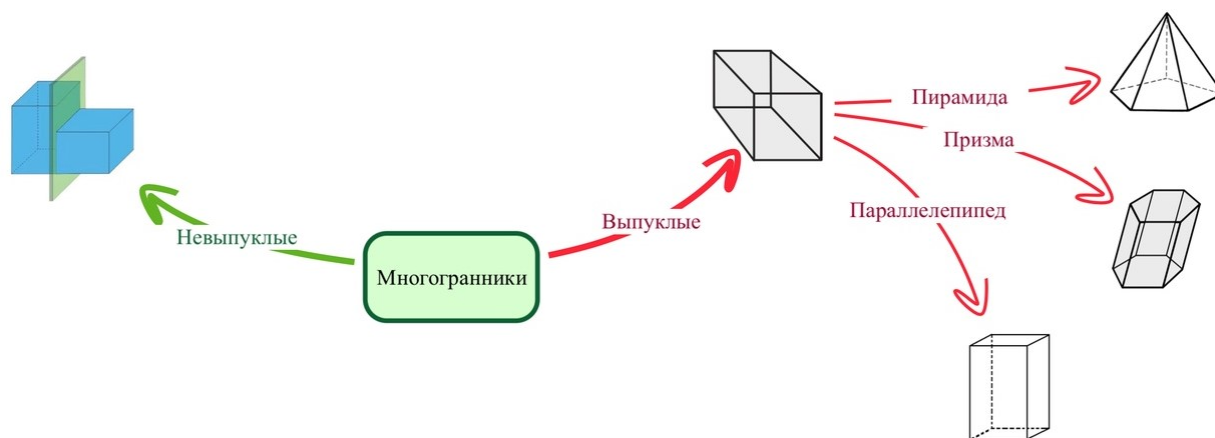


Рисунок 1 – Ментальная карта по теме «Многогранники»

Полученное изображение (см. Рисунок 1) является частью интеллект карты, разработанной по теме «Многогранники» в программе Inspiration Maps. С изучением каждого из разделов карта дополняется, и становится информативнее.

Данный материал апробирован на обучающихся МАОУ «Школы № 2» г. Губахи Пермского края в условиях дистанционного обучения. Практика показала, что ментальные карты способствуют запоминанию информации, вызывают интерес к изучаемому предмету,

раскрывают творческий потенциал обучающихся, удобны в деятельности педагога на этапах закрепления и систематизации знаний.

Библиографический список

1. Атанасян Л.С, Бутузов В.Ф, Кадомцев С.Б. Г. Геометрия.7-9 классы: учеб. для общнообразоват организаций. 7-е изд. М.: Просвещение, 2017 С.383.
2. Бьюзен Т. Гриффитс К. Интеллект-карты для бизнеса /Т. Бьюзен, Гриффитс; пер. с англ. О.Г. Белошеев. – Минск: Попурри, 2011– 320 с.: ил.
3. Пушкарева Т.П. Применение карт знаний для систематизации математической информации // Мир науки. Культуры. образования. 2011. №2 (27): С.139-144

ALGORITHM FOR BUILDING AN INTELLIGENCE MAP IN THE GEOMETRY LESSON USING THE INSPIRATION MAPS PROGRAM

Abdullina Ulyana V.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 19,
Mira st., Yekaterinburg, 620002 , Russia, ulya-a@bk.ru

Sheremet Galina G.

State Humanitarian-Pedagogical University of Perm, Pushkina st., 44, Perm, Russia,
614000, sheremet@pspu.ru

Abstract. This article discusses the main problems that students face when studying geometry in high school. The definition of "intelligence map" and its various translation variations are given. There are paid, free and on-line programs for building intelligence maps. The advantages and disadvantages of building maps in Inspiration Maps are shown. In addition, this program describes in detail the algorithm for constructing a map based on the textbook "Geometry 7-9" by L. S. Atanasyan on the topic: "Polyhedra". As a result, there were four stages of construction, and two levels of data organization. The first category includes "convex" and "non-convex" polygons. To the second: parallelepiped, prism, cone, ball, cylinder, pyramid. And the third and fourth levels are built depending on the type, properties, area and volume of the object.

Keywords: geometry, Mind Map, Tony Buzen, Inspiration Maps, polyhedra, construction.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ОБУЧЕНИИ АНАЛИЗУ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

Гордеева Юлия Андреевна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, j.gordeeva@psu.ru

В работе обсуждается создание системы автоматизированного контроля результатов обучения элементам интеллектуального анализа данных (Data Mining). Система в первую очередь предназначена в помощь той категории студентов, для которых математика и программирование не входят в число базовых элементов подготовки и для которых изучение интеллектуального анализа данных носит в основном ознакомительный характер. Система предъявляет студенту задание и предлагает выполнить его путем обращения к соответствующему модулю библиотеки языка Python. Представлен разработанный прототип системы в виде веб-приложения, написанного на языке Python с использованием фреймворка Django. Описаны особенности и возможности каждого модуля прототипа. Особое внимание уделяется безопасности отправляемого пользователем решения на проверку во избежание запуска вредоносного кода. Приведен пример работы пользователя с системой.

Ключевые слова: Data Mining, анализ данных, электронное обучение, python.

В последние годы интеллектуальный анализ данных стал чрезвычайно популярной технологией, используемой во многих сферах деятельности: банковское дело, финансы, страхование, CRM, производство, телекоммуникации, электронная коммерция, маркетинг, фондовый рынок и другие [1] – всюду, где накоплены большие объемы данных, возможно, содержащие скрытые закономерности. Это сделало актуальным решение задачи обучения основам анализа данных тех категорий студентов, которые не имеют глубокой математической подготовки и не владеют навыками программирования. Такое массовое обучение может стать более эффективным, если будет поддержано автоматизированной обучающей системой, способной осуществить полную или хотя бы предварительную оценку правильности выполнения учебных заданий. В данной работе описана концепция одного из возможных вариантов такой системы и ее прототип.

Востребованность в специалистах разного профиля, владеющих методами интеллектуального анализа данных, согласно академии больших данных MADE

(Mail.ru Group) и рекрутинговой компании HeadHunter, достаточно велика в отечественных IT-компаниях. В 2018 году количество вакансий под заголовком Data Scientist выросло в 7 раз по сравнению с 2015 годом [2]. Из этого вытекает необходимость подготовки кадров в данной сфере.

Опираясь на рассмотренные выше факты, можно прийти к выводу, что было бы полезно и актуально создать тренажер для обучения наиболее распространенным методам анализа данных.

Как известно [3], анализ данных можно выполнять с помощью различных средств. Это могут быть как некоторые языки программирования (в этой сфере доминируют языки R и Python), так и специализированные инструментальные средства, начиная с систем компьютерной математики, ориентированных на статистическую обработку (Statistica, SPSS и др.), так и платформы, специализированные на решение задач Data Mining (Deductor, Weka и др.). При выборе средства анализа данных, поддержку изучения которого окажет создаваемая система, мы исходили из ряда соображений, наиболее существенными из которых являются следующие:

- средство должно относиться к категории Open Source, т.е. быть общедоступным и бесплатным, поскольку большинство российских вузов не имеют средств на приобретение дорогостоящего программного обеспечения;
- средство должно быть широко распространенным в практике работы IT-предприятий, занимающихся анализом данных, чтобы выпускнику вуза, приступившему к работе, не пришлось переучиваться;
- средство должно быть детально описано в доступных пособиях на русском языке, в том числе в интернет-публикациях.

Всеми указанными свойствами обладает язык Python, и поэтому создаваемая нами обучающе-контролирующая система ориентирована на него. То обстоятельство, что это язык программирования, изучение которого, скорее всего, не входит в программу подготовки студентов, указанной выше категории, не слишком осложняет задачу, поскольку ни о каком серьезном программировании речь не идет. Задачи, предлагаемые студентам, решаются путем обращения к модулям, присутствующим в библиотеках для языка Python, без написания самих алгоритмов анализа данных.

Выбор в пользу Python, в сопоставлении с R, обоснован также тем, что, анализируя статистику Google Trends [4] с февраля 2016-го года по февраль 2020-го по запросам о применении Python и R в Data Science, мы заметили, что интерес к Python стал преобладать. На начало 2018-го года число запросов уже в два раза превосходило аналогичные обращения, связанные с R.

Ниже описывается прототип информационной системы, реализующей в качестве примера задачу линейной регрессии, поскольку эта задача наиболее

понятна в постановке, не требует глубоких математических знаний, а значит, идеально подходит для начального этапа разработки.

В системе выделены три основных модуля: модуль с теоретическим материалом, модуль с практическим материалом и автоматической проверкой правильности решения задания, модуль для добавления теоретических и практических материалов преподавателем.

В «теоретическом» модуле, помимо материалов по анализу данных, пользователю предлагается небольшое количество базового материала по Python. Это сделано для того, чтобы тот, кто не знаком с данным языком программирования, смог изучить необходимый минимум и приступить к прохождению уроков по Data Mining.

Рассмотрим пример работы системы. Допустим, пользователь уже знаком с синтаксисом и основными функциями Python и готов приступить непосредственно к изучению методов, используемых для анализа данных. Он зайдет в раздел с теоретическим материалом, откроет тему “Линейная регрессия”, прочтет информацию о том, что такое линейная регрессия и в каких случаях она применяется, ознакомится с модулем “`linear_model`” из библиотеки “`sklearn`” и увидит пример кода на Python. Далее, ему будет предложено решить несколько задач на линейную регрессию. Он выбирает задачу из списка, читает условие, просматривает таблицу с исходными данными и применяет полученную только что информацию о том, как решать задачу линейной регрессии, записывая код в форму ввода. После написания кода, пользователь нажимает кнопку “Запустить”, система проверяет отправленный код на наличие запрещенных действий, и, если код определится как безопасный, выполняет его. Результат работы выведется на экран, а также сверится с эталонным решением, заранее заведенным в систему для каждого задания. Эталонным решением является какое-то число, набор чисел, либо какой-то специфический формат, который указан в тексте задания, а не код программы. Если пользователь допустил синтаксическую ошибку, система укажет на нее. При логически неверном решении задания, пользователю необходимо самостоятельно перепроверить код, отправляемый на проверку, исправить неточности и повторить попытку снова.

Для преподавателей предусмотрен отдельный раздел, в котором можно добавлять, изменять и удалять теоретический материал с добавлением примера кода, а также практические задания с эталонными решениями. Доступ к этому модулю осуществляется по логину и паролю, выданному администратором системы.

Разработанный прототип информационной системы представляет собой веб-приложение. При написании использовался язык программирования Python и фреймворк Django, в качестве базы данных была выбрана SQLite.

Данная работа прошла первичную апробацию и будет продолжена как в целях совершенствования интерфейса, так и путем расширения на такие классические задачи анализа данных как классификация и кластеризация. А поскольку Data Mining включает в себя ещё и подготовку данных к анализу, которая на практике занимает до 80% всего времени, отведенного на проект [5], то расширять систему можно и в сторону изучения приемов очистки данных.

Хочу выразить благодарность Евгению Карловичу Хеннеру, доктору физ.-мат. наук, профессору, за ценные советы и помощь в подборе информации при работе над данной статьей.

Библиографический список

1. *Миркин Б. Г.* Введение в анализ данных. М.: Юрайт, 2019. 174 с.
2. Академия больших данных MADE. Исследование: портрет российского Data Scientist. [Электронный ресурс] URL: <https://data.mail.ru/pages/research/> (дата обращения: 18.02.2020).
3. *Чубукова И. А.* Data Mining. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. 382 с.
4. Google Trends. Сравнение динамики популярности по запросам. [Электронный ресурс] URL: <https://trends.google.com/trends/explore?date=2016-02-01%202020-02-19&q=Python%20data%20science,R%20data%20science> (дата обращения: 18.02.2020).
5. *Zhang S., Zhang C., Yang Q.* Data Preparation for Data Mining // Applied Artificial Intelligence. 2003. № 17. P. 375–381.

AUTOMATED CONTROL FOR TEACHING DATA ANALYSIS (ON THE EXAMPLE OF SOLVING LINEAR REGRESSION TASKS)

Gordeeva Julia A.

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

The paper discusses the creation of a system for automated learning of data mining. The system is primarily intended to help that category of students for whom mathematics and programming are not among the basic elements of training and for which the study of data mining is mainly for informational purposes. The system presents a task for student and offers to complete it by referring to the appropriate module of the Python language library. A developed system prototype is presented like a web-application written in Python using the Django framework. The features and capabilities of each prototype module are described. Particular attention is paid to the security of the user-submitted verification solution to prevent malicious code from running. The example of user work with the system is given.

Keywords: Data Mining, e-learning, python.

ПРЕПОДАВАНИЕ МАТЕМАТИКИ С УЧЕТОМ СТИЛЕЙ ОБУЧЕНИЯ

Корепанова Алла Александровна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 614990,
Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 24, allo4kinapo4ta@mail.ru

В статье рассматривается концепция американского психолога, доктора в области социальной психологии Дэвида Колба о четырех стилях обучения: аккомодационный, дивергентный, конвергентный и ассимилирующий, которые определяют восприятие информации и способ ее обработки человеком. Изучаются особенности каждого стиля обучения, описывается их влияние на усвоение знаний учащимися на уроках. Исследуется применение данной концепции к преподаванию математических дисциплин в школе, демонстрируется важность учитывания стилей обучения. Также в статье представлены рекомендации по подбору и созданию заданий по математике для учащихся разных стилей обучения. Приводится пример разработки урока математики для 5 класса на тему «Степень числа с натуральным показателем», в который включены задания для каждого стиля обучения.

Ключевые слова: стили обучения, цикл познания Д. Колба, преподавание математики, степень числа с натуральным показателем.

В конце XX века Дэвид Колб, американский психолог, доктор в области социальной психологии, рассматривая процесс обучения, выделил в нем четыре этапа. Первый этап – это непосредственный опыт. Приступая к изучению какой-либо темы, человек уже имеет определенные представления, знания и жизненный опыт, связанные с этой темой. Второй этап – это наблюдения и рефлексия. На этом этапе человек имеющиеся у него знания анализирует, сопоставляет, обдумывает. На третьем этапе человек формирует абстрактные концепции и модели. На четвертом этапе он изученный материал применяет на практике. На этом этапе изучение данного вопроса заканчивается, и человек переходит на первый этап изучения следующей темы. Таким образом, образуется цикл (см. рисунок 1).



Рисунок 1 – Цикл обучения Д. Колба

Дэвид Колб также заметил, что каждый человек отдает предпочтение тому или иному этапу. Основываясь на этом, он разделил людей на четыре группы, в зависимости от того, какой из этапов им близок. Каждая группа по-своему воспринимает и интерпретирует информацию [1]. Каждая группа имеет свой стиль обучения. Дадим краткую характеристику каждому стилю обучения, выделим приемы и методы преподавания, наиболее близкие и понятные для каждого стиля обучения.

Аккомодационный стиль. Такой ученик, изучая новые темы, любит сам, методом проб и ошибок приходить к новым формулам и теоремам. Однообразные действия ему быстро надоедают. Разобравшись с одной темой, он немедленно хочет приступить к следующей. Ученик с данным стилем обучения не любит долгие лекции или чтение теории, всю информацию ему легче получать при собственном поиске, а также при общении с другими людьми. Задания для такого ученика можно выбрать следующие: проблема, для которой нужно найти решение, игра-обсуждение, анализ трудных случаев.

Дивергентный стиль. Такой ученик обычно держится в стороне от активности, слушает других, чтобы иметь возможность тщательно обдумать ситуацию и рассмотреть ее с разных точек зрения. Он нуждается в дополнительном времени для размышлений, в возможности работать в собственном темпе, без жестких сроков. Он наиболее успешен в выполнении трудоемких исследований, в заданиях, в которых требуется найти и подготовить информацию заранее. Наиболее предпочтительными формами организации обучения для таких учащихся являются: индивидуальная работа с задачей, подготовка доклада. Такому ученику будет комфортно решать задачи, основываясь на образце решения учителя.

Ассимилирующий стиль. Такой ученик старается все известные ему факты, теории и наблюдения классифицировать, систематизировать, собрать в одну рациональную схему. Он силен в построении теорий, моделей, в выдвижении гипотез и в теоретическом осмыслении. Для него наиболее интересными будут доказательство теорем или формул, построение схем или таблиц.

Конвергентный стиль. Такого ученика интересует практическое применение получаемых знаний. Первый вопрос, который он задает: «Где мне это пригодится?». Для него утомительны рассуждения, долгие дискуссии и размышления относительно теории. Ему нужно понять, как информация связана с реальной жизнью, и немедленно попробовать новые методы на практике. Для него подойдут следующие формы организации обучения: решение практических проблем, применение новой теории при решении уже знакомых задач [2].

Поскольку в классе есть ученики разных стилей обучения, урок должен включать в себя все четыре этапа цикла познания Д. Колба, чтобы каждый ученик усвоил знания в понятной и доступной для него форме. Рассмотрим пример построения урока математики для 5 класса на тему «Степень числа с натуральным показателем».

На первом этапе следует предложить задание на самостоятельное открытие нового знания. Это может быть задача, которая не решается или трудно решается уже известными методами. В теме «Степень числа» можно привести следующее задание: «Можно ли записать короче следующие выражения: $3 + 3 + 3 + 3 + 3$, $7 + 7 + 7$, $2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2$?» Ученики уже знают, как короче записать два первых выражения, используя произведение. Как записать третье выражение они еще не знают и могут высказывать свои предположения, таким образом, опытным путем приходя к новому понятию.

На втором этапе следует дать детям сформулированную теорию и показать образец решения, чтобы учащиеся дивергентного стиля обучения также поняли тему. После этого следует дать задания на использование данной теории. В теме «Степень числа» вначале следует дать определение, показать способ вычисления, после чего дать задание на запись степеней и на их вычисление. Пример заданий: «Задание 1. Запишите в виде степени: $8 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 8$, $23 \cdot 23 \cdot 23 \cdot 23$, $7 \cdot 7 \cdot 7 \cdot 7 \cdot 7 \cdot 7 \cdot 7$. Задание 2. Начертите в тетради приведенную ниже таблицу и заполните ее, вычислив степень (см. таблицу 1).»

Таблица 1 – Задание 2

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x^2										
x^3										

На третьем этапе следует уделить внимание ассимилирующему стилю обучения, который пытается понять изучаемую теорию с логической точки зрения. Ему важно понимать все взаимосвязи и аргументы. Поэтому здесь

можно включить задания, которые бы демонстрировали взаимосвязь между изучаемыми элементами. В теме «Степень числа» это могут быть задания на доказательство основных формул степени. Можно включить задание на создание интеллектуальной карты по данной теме: «Даны понятия: свойства степени, произведение степеней с одинаковым основанием, возведение степени в степень, частное степеней с одинаковым показателем, компоненты степени, показатель, основание, определение степени. Требуется составить из них схему, в которой будут верно отражены все связи.»

На последнем этапе следует показать применение изучаемой теории. Это может быть сделано посредством текстовых сюжетных задач или посредством решения уже известных задач новым способом. Пример задания по теме «Степень числа»: «Масса Земли $6 \cdot 10^{24}$ кг, масса Солнца $18 \cdot 10^{29}$ кг. Во сколько раз Солнце тяжелее Земли?».

Таким образом, нами были рассмотрены стили обучения и подобраны задачи по теме «Степень числа», учитывающие особенности каждого стиля. В заключении стоит сказать, что цель учителя – это не только использовать сильные стороны стиля обучения ученика, объясняя тему на доступном ему языке, но и развивать способности, не свойственные его стилю, чтобы учащийся мог полноценно развиваться и в будущем чувствовать себя комфортно при любой форме проведения уроков.

Библиографический список

1. *Зелинский М.М.* Использование цикла познания Д. Колба в преподавании экономических дисциплин // Региональная экономика: теория и практика: научный журнал. М., 2014. №15. С.39-49.
2. *Сергеев С.Ф.* Инструменты обучающей среды: стили обучения // Образовательные технологии, 2010. №3. С.85-94.

TEACHING MATH WITH LEARNING STYLES

Korepanova Alla A.

Perm State Humanitarian Pedagogical University, 24, Siberian st., Perm, 614990,
Russia, allo4kinapo4ta@mail.ru

The article discusses the concept of the American psychologist, doctor in social psychology David Kolb about four learning styles: accommodative, divergent, convergent and assimilating, which determine the perception of information and the way a person processes it. The features of each learning style are studied, their influence on the assimilation of knowledge by students in the classroom is described. The application of this concept to the teaching of mathematical disciplines at school is investigated, the importance of taking into account learning styles is demonstrated. The article also provides recommendations on the selection and creation of math assignments for students of different learning styles. An example of developing a mathematics lesson for grade 5 on the topic "Degree of a number with a natural indicator" is given, which includes tasks for each learning style.

Keywords: learning styles, D. Kolb's learning cycle, teaching mathematics, degree of number with natural indicator.

ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Царёва Фания Шавкатовна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, fire_1986@bk.ru

В настоящей работе рассматривается цифровизация учебного процесса в связи с глобальными проблемами. Рассмотрены достоинства и недостатки использования цифровых технологий в учебном процессе, а также возможные пути решения проблем. Также сделан акцент на проблемы, выявленные на практике, такие как острая необходимость в компьютере и доступе в Интернет, неудобство использования образовательных онлайн-платформ, отсутствие мотивации как у учащихся, так и у преподавателя, несоответствие параметров компьютерных устройств для комфортной работы, сложность соблюдения здоровьесберегающих технологий.

Ключевые слова: цифровизация образовательной среды, дистанционное обучение, информационные технологии, мотивация, доступность образования, открытость образования.

Необходимость создания цифровой образовательной среды для непрерывного профессионального образования неизбежна в модернизации системы непрерывного профессионального образования, включающей в себя использование электронных образовательных ресурсов, призванных обеспечить непрерывное образование и профессиональную переподготовку специалистов в условиях цифровизации [2].

Цифровизацию и образование – это два непосредственно связанных понятия. Цифровизация образования необходима для улучшения качества образования и преодоления временных и территориальных барьеров [3]. Например, сегодня в связи с пандемией коронавируса возникла острая необходимость в переходе на дистанционное обучение, что предполагает тотальную цифровизацию учебного процесса: он не сводится просто к переписке преподавателя со студентами по электронной почте или в социальных сетях, а подразумевает ведение “очных” дистанционных занятий при помощи специализированных программ и платформ, позволяющих вести занятия как индивидуально, так и с большими аудиториями.

Попадание в цифровую среду – неизбежная реальность для нашего времени. Однако, внедрение электронных форм обучения имеет как положительные, так и негативные стороны, связанные с угрозами информационно-психологической безопасности и здоровья личности.

К положительным сторонам цифровизации учебного процесса можно отнести следующие моменты (на основе личного опыта): постоянный доступ к учебному пособию при наличии интернета – можно выполнять задания в любом удобном месте, будь то дома или в общественном транспорте; соблюдение принципов обучения, особенно принципа наглядности; автоматизированная проверка и контроль хода выполнения тестов, что позволяет преподавателю экономить огромное количество времени; возможность хранения выполненного студентами материала в одном месте, например, тесты, презентации, эссе в электронном формате, что устраняет проблему утери выполненных работ; возможность консультации студентов с преподавателем в режиме онлайн: на базе учебной платформы или других удобных ресурсах; введение элемента игры через программу Quizlet [5]. Казалось бы, что для студентов университета это ни к чему, однако, такой вид работы на уроке способствует «оживлению» учащихся и запоминанию лексики; возможность мгновенной корректировки содержания учебного пособия, что удобно для обновления тем разделов электронного учебника; в случае болезни можно присутствовать на занятиях дистанционно.

К недостаткам цифровизации относятся следующие моменты: маленький экран смартфона, которым студенты (и преподаватели) отдают предпочтение; медленный интернет или его отсутствие; устаревшее оборудование; неудобная и непонятная для студентов и преподавателей онлайн-платформа, например, Moodle [4], особенно, если работы идет за устаревшим компьютером, экран которого не настраивается под более современные разрешения; низкая мотивация и лень студентов – цифровые возможности уже всегда под рукой (Google сервисы, онлайн-словари, справочники), но студенты не хотят этим пользоваться, они почему-то ждут, когда преподаватель сам переведет им какое-либо слово или найдет нужную информацию; несоблюдение здоровьесберегающих технологий;

Как можно решить вышеперечисленные проблемы? Проблема маленького экрана, естественно, решается при помощи замены на большой экран, но это требует финансовых затрат и приводит к другим неудобствам: придется носить с собой гаджет внушительных размеров. В данном случае необходимо правильно расставить приоритеты: собственное здоровье превыше всего, поэтому по возможности нужно работать за большим монитором и на

определенном расстоянии от него; смартфонами пользоваться в крайнем случае.

Вопрос доступности интернета зависит от множества факторов, но эта проблема скоро перестанет быть проблемой в России, так как «Высокая доступность интернета должна стать конкурентным преимуществом России и россиян, заявил Владимир Путин в послании Федеральному собранию» [1].

Проблема устаревшего оборудования может решиться благодаря конкуренции среди производителей гаджетов: электронные девайсы постоянно совершенствуются, при этом их стоимость остается адекватной.

Проблема удобства и понятности онлайн-платформ и программ для проведения видеоконференций также может быть решена через конкуренцию разработчиков данных сервисов. Выбор пользователя будет зависеть от удобства, простоты, полезных функций и, конечно, стоимости пользования.

Проблема низкой мотивации студентов существовала всегда, а сегодня только усугубилась. Студенты всегда идут по пути наименьшего сопротивления, и когда возможно, стараются не выполнять задания. Например, нужно было посмотреть фильм на английском языке, которого нет на просторах интернета, но есть в цифровом формате у преподавателя; формат файла нестандартный, и, естественно, студенты не стали напрягаться, чтобы найти способ открыть файл, и, соответственно, фильм не посмотрели (это было домашнее задание).

Также существует проблема, что студенты не воспринимают электронное учебное пособие серьезно, не воспринимают это как учебный материал в обычном привычном бумажном учебнике, соответственно, относятся к нему иначе и иначе его используют. Кажется, что у студентов и у многих других людей сложилось мнение, или образ, что виртуальное содержимое нашего гаджета всегда под рукой и можно в любой момент включить смартфон/планшет/ноутбук и тут же найти необходимый материал. Вот только руки до этого никак не доходят. Происходит «коллизия» реального и виртуального миров, очень сложно понять и принять, что оба этих мира могут соединиться; сейчас мы находимся на так называемой стадии «отрицания», учебник и учеба — это то, что нас заставляют делать, а гаджет — это удовольствие, и впустить неприятную учебу в удовольствие трудно, иногда невозможно, для студентов. Также студенты считают, что виртуальное содержимое гаджета — это несерьезно, поэтому несерьезно воспринимают электронный учебник и дистанционное обучение. Почему так трудно начать пользоваться электронными учебниками? Потому что нужно выйти из зоны комфорта. Решением в данной ситуации выступает выход из зоны комфорта,

трезвая осмысленная оценка цифровизации образовательного процесса как студентами, так и преподавателями, необходимо полное понимание, что содержание учебного пособия имеет одинаковую ценность независимо от носителя, будь то бумажный учебник или электронное пособие.

Проблема здоровьесбережения, в первую очередь, решается при помощи самодисциплины и самоорганизации: необходимо сделать себе установку, что без физической активности никакой вид деятельности не будет продуктивным и эффективным, обязательно нужно делать перерывы во время учебного процесса с целью заняться физкультурой. Также необходимо создать максимально комфортные условия для зрения: качественный экран с большой диагональю. Для сохранения здоровья позвоночника можно и нужно работать за компьютером стоя; такой вид работы становится все более популярным в школах.

Таким образом, можно сделать вывод, что цифровизация учебного процесса имеет массу преимуществ и недостатков, но при грамотном подходе практически все негативные стороны можно устранить и получить максимальную пользу от основных направлений развития образовательной сферы – открытости, качества и доступности.

Библиографический список:

1. *Купешова С. Т., Мантай Н. У. Ы.* Проблемы и перспективы инновационного развития в условиях цифровизации / С. Т. Купешова, Н. У. Ы. Мантай // Студент года 2019 сборник статей IX Международного научно-исследовательского конкурса / Ответственный редактор: Г. Ю. Гуляев. 2019. С. 60-62.
2. *Назарова Т. Н.* Информационная компетентность в условиях цифровизации образовательного процесса / Т. Н. Назарова // Мир науки, культуры, образования. – 2020. – №1. – С. 61-62.
3. Официальный сайт MOODLE [Электронный ресурс] URL: <https://moodle.com/> (дата обращения: 31.08.2020).
4. Официальный сайт Quizlet [Электронный ресурс] URL: <https://quizlet.com/> (дата обращения: 31.08.2020).
5. Путин анонсировал проект «Доступный интернет». Что это означает для пользователей и провайдеров? [Электронный ресурс] URL: <https://www.bfm.ru/news/434262> (дата обращения: 28.02.2020).

PROBLEMS OF EDUCATIONAL PROCESS DIGITALIZATION AND THE WAYS TO SOLVE THEM

Tsaryova F. S.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, fire_1986@bk.ru

In this article the digitalization of the learning process in response to global challenges is considered. Advantages and disadvantages of using digital technologies in the educational process, as well as possible ways to solve the problems are considered. There is also an emphasis on problems identified in practice, such as the urgent need for computer and Internet access, the inconvenience of using educational online platforms, the lack of motivation of both students and teachers, the mismatch of computer devices parameters for comfortable work, the difficulty of compliance with healthy technologies.

Keywords: digitalization of educational process, distance education, information technologies, motivation, education availability, education openness.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КУРСАМИ MOODLE, ОБЛАЧНАЯ КОНФЕРЕНЦ-ПЛАТФОРМА ZOOM И СЕРВИС QUIZLET КАК ИДЕАЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ ЗАНЯТИЙ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ

Царёва Фания Шавкатовна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, fire_1986@bk.ru

В настоящей работе рассматривается применение *системы управления курсами Moodle, облачной конференц-платформы Zoom и сервиса Quizlet для дистанционного образования*. Приводится описание каждого ресурса с указанием преимуществ и недостатков на основе отзывов от преподавателей и студентов. Делается вывод, что комбинация перечисленных инструментов даёт возможность вести дистанционные занятия интерактивно и постоянно отслеживать и контролировать учебный прогресс студентов, что позволяет следовать всем принципам обучения и сохранять мотивацию студентов и качество образования на высоком уровне.

Ключевые слова: дистанционное обучение, синхронное и асинхронное обучение, формы организации учебной деятельности, интерактивность, непрерывный контроль, прокрастинация.

Пандемия стала внезапной проверкой готовности не только для мирового здравоохранения: образовательные учреждения почти во всем мире вынужденно перешли в новый формат, экспериментируя с массовым дистанционным образованием [7]. Таким образом, пандемия дала стимул к более широкому применению новых доступных инструментов для онлайн-обучения.

Однако, после снятия ограничений, введенных из-за угрозы распространения новой коронавирусной инфекции, у многих участников учебного процесса возник вопрос: «А почему бы не оставить дистанционный режим образования, если угроза для здоровья всё еще сохраняется?». Естественно, все участники учебного процесса поддерживают идею соблюдения мер безопасности, но мнения насчёт качества дистанционного образования разделились: одни считают, что оно несколько не уступает традиционному обучению в стенах образовательного учреждения, а другие называют его профанационным и совершенно бесполезным, так как оно даёт

студентам мнимую свободу и подталкивает к прокрастинации, что отрицательно сказывается на академических показателях качества образования.

В нашем случае (на примере обучения студентов ПГНИУ) можно утверждать, что дистанционное образование можно сделать качественным, если детально изучить и грамотно подобрать электронные ресурсы для учебно-преподавательской деятельности. В период пандемии COVID-19 дистанционное обучение студентов ПГНИУ велось с использованием системы управления курсами MOODLE [4], облачной конференц-платформы Zoom [6] и сервисом Quizlet [5].

Базой для учебного материала послужило учебное пособие для смешанного формата обучения к дисциплине «Английский язык (базовый курс)» [1] для студентов второго курса с уровнем владения английским языком A1-A2 по шкале общеевропейских компетенций владения иностранным языком, разработанное коллективом преподавателей кафедры английского языка профессиональной коммуникации ПГНИУ на платформе MOODLE – модульной объектно-ориентированной динамической учебной среде (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment или MOODLE), предложенной Мартином Дугиамасом [4]. Система управления обучением LMS MOODLE, известная также как виртуальная обучающая среда, представляет собой бесплатное веб-приложение, которое встраивается в сайты и используется учебными заведениями для дистанционного или смешанного обучения в качестве дополнительного механизма организации аудиторной и самостоятельной работы [2]. Основными преимуществами интерактивного учебного пособия являются отсутствие печатных материалов, возможность работать в любом месте и в любое время, разнообразный контент и задания, интерактивность и элементы геймификации, удобный способ отправки выполненных работ, ясная система оценивания, автоматическое оценивание тестов и комментарии к неправильным ответам, возможность совместного онлайн-обучения. Среди трудностей, возникших в ходе обучения, были отмечены медленная загрузка упражнений, необходимость стабильного Интернет-соединения, технические неполадки, спорные моменты при оценивании тестов с открытыми вопросами [2]. Несмотря на возникшие трудности, студенты положительно оценили учебное пособие, так как оно дает определенную свободу действий. Всё же, главным достоинством данного инструмента является постоянный контроль участия студентов: преподаватель видит ход выполнения заданий каждого студента. Также преподаватель владеет следующей информацией: выполняются ли задания, когда и как долго студенты выполняют интерактивные тесты и задания, какое количество попыток они

используют, что позволяет контролировать работу каждого студента в индивидуальном порядке и не оставляет никаких шансов для прокрастинации.

Рассматриваемое интерактивное учебное пособие по английскому языку подходит для традиционного и смешанного обучения, позволяет варьировать долю синхронного и асинхронного дистанционного компонента, адаптировать содержание к нуждам конкретной группы, непрерывно обновлять контент [2]. Однако, при переходе на дистанционное обучение, среди студентов и преподавателей началась паника по поводу синхронного обучения. Решить данный вопрос можно при помощи видеосвязи посредством таких программ, как Skype, Discord, WhatsApp, Viber, Zoom и другие. В нашем случае был использован Zoom – сервис для проведения видеоконференций, онлайн-встреч и дистанционного обучения.

Сервис Zoom предоставляет замечательную возможность использовать все формы организации учебной деятельности: индивидуальную, фронтальную, и групповую. Во время ведения занятий со студентами во время пандемии использовались фронтальная и групповая формы работы. Парная и групповая работа велась посредством распределения студентов на виртуальные комнаты. Другими преимуществами Zoom являются отличная связь, видео и аудио связь с каждым участником, возможность у организатора выключать и включать микрофон участников, а также выключать видео и запрашивать включение видео у всех участников, функция демонстрации экрана, встроенная интерактивная доска, наличие общего чата, возможность записи урока как на компьютер, так и на облако.

Для достижения большей интерактивности был использован инструмент Quizlet – сервис, позволяющий легко запоминать любую информацию, которую можно представить в виде учебных карточек. Quizlet предлагает несколько режимов работы с лексикой: карточки, заучивание, письмо, правописание, тестирование, подбор, гравитация и игра Live. Игра Live требует участия преподавателя, и создает эффект присутствия в классе, держит студентов в тонусе. При запуске Quizlet Live на дистанционных занятиях происходило мгновенное оживление среди студентов, так как игра требует внимательности и хорошей реакции. В платной версии Quizlet преподаватели могут создавать материалы, используя свои изображения, диаграммы и аудио; использовать расширенное форматирование текста; отслеживать прогресс учащихся и напоминать о необходимости изучения модуля, что не позволяет откладывать изучение лексики по теме и мотивирует регулярно работать. Помимо карточек «термин-перевод» и «термин-определение» были составлены такие комбинации, как «термин – синоним», «термин – антоним», «фраза/идиома частями», «словообразование», «термин – несколько словосочетаний с пропусками для

выбора недостающего в пропуск слова», «термин – несколько предложений с пропусками».

Таким образом, LMS MOODLE и сервис Quizlet являются инструментами для подачи учебного материала с непрерывным контролем учащихся со стороны преподавателя, что подразумевает стабильную учебную деятельность студентов как во время, так и вне онлайн-занятий, а облачная конференц-платформа Zoom с синхронной работой с указанными ресурсами позволяет использовать привычные формы организации учебной деятельности дистанционно. Перечисленные инструменты гармонично дополняют друг друга, помогая решить все педагогические задачи, и могут быть успешно применены для дистанционного образования с сохранением высоких академических показателей.

Библиографический список:

1. Английский язык (Базовый курс) КАЯПК [Электронный ресурс] URL: <http://e-learn.psu.ru/> (дата обращения: 31.08.2020).
2. Байбурова О. В. Использование системы управления курсами MOODLE для организации смешанного обучения английскому языку / О. В. Байбурова // Евразийский гуманитарный журнал. – 2020. – №3. – С. 108-115.
3. Дьяченко А., Демищенко Е. 11 фишек системы Moodle, о которых Вы не знали [Электронный ресурс] URL: <https://etutorium.ru/blog/11-fishek-sdo-moodle-o-kotorykh-vy-ne-znali/> (дата обращения 28.03.2020).
4. Официальный сайт MOODLE [Электронный ресурс] URL: <https://moodle.com/> (дата обращения: 25.08.2020).
5. Официальный сайт Quizlet [Электронный ресурс] URL: <https://quizlet.com/> (дата обращения: 27.08.2020).
6. Официальный сайт Zoom [Электронный ресурс] URL: <https://zoom.us/> (дата обращения: 21.08.2020).
7. Пандемия как вызов мировому образованию [Электронный ресурс] URL: <https://sn.ria.ru/20200415/1570022927.html> (дата обращения: 23.08.2020).
8. Сарян М. А. Опыт интегрирования инновационных технологий в процесс обучения иностранному языку студентов, магистрантов и аспирантов на примере использования системы MOODLE / М. А. Сарян // Глобальный научный потенциал. – 2016. – № 5. – С. 15–19.

LMS MOODLE, ZOOM CLOUD CONFERENCE PLATFORM AND QUIZLET AS IDEAL TOOLS FOR LEARNING IN THE PANDEMIC PERIOD

Tsaryova F. S.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, fire_1986@bk.ru

Abstract. In this article the use of Moodle course management system, Zoom cloud conferencing platform and Quizlet service is considered. Description of each resource is provided, with advantages and disadvantages, based on feedback from faculty and students. It is concluded that the combination of the listed tools makes it possible to conduct distance classes interactively and constantly monitor and control the educational progress of students, which allows you to follow all the principles of learning and keep students motivated and the quality of education at a high level.

Keywords: distance learning, synchronous and asynchronous learning, forms of organizing educational activities, interactivity, continuous monitoring, procrastination.

Научное издание

**Математика и междисциплинарные
исследования – 2020**

Материалы Всероссийской научно-практической конференции
молодых ученых с международным участием
(г. Пермь, 12–14 октября 2020 г.)

Издается в авторской редакции
Компьютерная верстка: *И. В. Рожков, Н. С. Лашов*

Объем данных 10,8 Мб
Подписано к использованию 22.10.2020

Размещено в открытом доступе
на сайте www.psu.ru
в разделе НАУКА / Электронные публикации
и в электронной мультимедийной библиотеке ELiS

Издательский центр
Пермского государственного
национального исследовательского университета
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

ОРГАНИЗАТОРЫ:



Министерство
образования
и науки
Пермского края

СПОНСОРЫ
И ПАРТНЕРЫ
МЕХАНИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКОГО
ФАКУЛЬТЕТА:



Ростелеком
Информационные Технологии

BioNT
ВАША ИНФОРМАЦИЯ
ПОД НАДЕЖНОЙ ЗАЩИТОЙ

BOTAN
INVESTMENTS

PARMA
Technologies Group