

МАТЕМАТИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ – 2021

Материалы Всероссийской научно-
практической конференции молодых ученых
с международным участием

(г. Пермь, 18–20 октября 2021 г.)



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

МАТЕМАТИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ – 2021

Материалы
Всероссийской научно-практической конференции
молодых ученых с международным участием

(г. Пермь, 18–20 октября 2021 г.)



Пермь 2021

УДК 51: 001

ББК 2.1: 1

М34

Математика и междисциплинарные исследования – 2021.
М34 [Электронный ресурс]: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием (г. Пермь, 18–20 октября 2021 г.) / гл. ред. А. П. Шкарапута; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2021. – 8 Мб; 185 с. – Режим доступа: www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/mmi-2021.pdf. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3719-5

В сборнике представлены статьи участников Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Математика и междисциплинарные исследования – 2021».

Публикуемые материалы 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.

Сборник предназначен для научных и педагогических работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов и всех, кто интересуется проблемами математики, механики и информатики.

УДК 51: 001

ББК 2.1: 1

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

Редакционная коллегия

А. П. Шкарапута (гл. ред.), А. О. Алексеев, В. Н. Аптуков,
А. А. Волочков, Д. Г. Гилёв, А. Ю. Городилов, В. В. Ильин, В. В. Ланин,
В. Н. Павелкин, В. М. Пестренин, М. А. Плаксин, С. В. Русаков, О. Л. Русакова,
К. В. Рябинин, Т. Н. Соловьева, Е. К. Хеннер, А. В. Чупин, С. И. Чуприна,
Ю. А. Шарапов, К. Г. Шварц

ISBN 978-5-7944-3719-5

© ПГНИУ, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Алексеев А.О., Адыева Т.В.

ЮРИДИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
КАТЕГОРИИ РИСКА ЧЛЕНОВ САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ
ОРГАНИЗАЦИЙ10

Вечтомов Е.М., Петров А.А.

К ТЕОРИИ МУЛЬТИПЛИКАТИВНО ИДЕМПОТЕНТНЫХ
ПОЛУКОЛЕЦ15

Гарафутдинов Р.В.

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО
ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОРТФЕЛЯ МАРКОВИЦА С ПРИМЕНЕНИЕМ
МЕТОДОВ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ···20

Катаева Т.А.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ
К СОГЛАСОВАНИЮ ГРАФА23

Машкина А.К., Чупин А.В.

МЕРЫ ХАОСА В ПРОСТЫХ СИСТЕМАХ28

Митин В.Ю.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АНОМАЛИЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ В ГОРОДЕ ПЕРМИ32

Ожгибесова И.А., Шабрыкина Н.С.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЫЖКА В ФИГУРНОМ КАТАНИИ ···36

Бузмакова М.М., Теплых П.Д.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРКОЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ К-МЕРОВ
НА ПЛОСКОСТИ40

Трегубова И.Д., Шарапов Ю.А.

АДДИТИВНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАНЖИРОВАНИЯ
РЕЗЮМЕ КАНДИДАТОВ ПО СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ
ТРЕБОВАНИЯМ ВАКАНСИИ44

Чугайнова А.М., Алексеев А.О., Алексеева И.Е.

ПРИМЕР ИДЕНТИФИКАЦИИ ФИНАНСОВЫХ ПАТТЕРНОВ
В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БАНКРОТСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ
ОРГАНИЗАЦИЙ49

МАТЕМАТИКА И ФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Ибрагим А.Х., Удовиченко С.Ю.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ
БЛОКОВ БИОМОРФНОГО НЕЙРОПРОЦЕССОРА И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ
РЕЗУЛЬТАТОВ ИХ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ55

Кислицын В.Д., Мохирева К.А.

ОПИСАНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНОГО
МАТЕРИАЛА В СЛУЧАЕ ОДНООСНОГО РАСТЯЖЕНИЯ
С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ59

Колчанова Е.А., Колчанов Н.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКЦИИ В ДВУХСЛОЙНОЙ СИСТЕМЕ
«ВОЗДУХ – ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩАЯ ПОРИСТАЯ СРЕДА»
ПРИ РАЗНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ64

Колчанова Е.А., Сагитов Р.В.

КОНВЕКЦИЯ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ ВДУВАНИИ ВОЗДУХА
В ДВУХСЛОЙНУЮ СИСТЕМУ С ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ
ПОРИСТОЙ МАТРИЦЕЙ68

| | |
|--|-----|
| Конотоп Д.А., Максимов П.В., Николаев А.В. | |
| ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕТАНА В ШАХТЕ | 72 |
| Ложкин Д.В., Максимов П.В. | |
| ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЛЕГЧЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ | 76 |
| Наговицына Д.В., Конин Ю.А. | |
| ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕЙВАЮЩИХ СТРУКТУР В ВОЛОКНЕ | 81 |
| Каменских А.А., Носов Ю.О., Адамов А.А. | |
| О КОНФИГУРАЦИИ УГЛУБЛЕНИЙ ПОД СМАЗКУ В АНТИФРИКЦИОННОЙ ПРОСЛОЙКЕ СФЕРИЧЕСКОЙ ОПОРНОЙ ЧАСТИ МОСТА | 86 |
| Каменских А.А., Панькова А.П. | |
| СОЗДАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ОПОРНОЙ ЧАСТИ МОСТОВОГО ПРОЛЕТА | 90 |
| Каменских А.А., Пащенко М.М. | |
| О ВЛИЯНИИ ХАРАКТЕРА КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОСЛОЙНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ | 94 |
| Пешин С.Е. | |
| БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПЯСТНОГО КАНАЛА | 98 |
| Струкова В.И., Каменских А.А., Адамов А.А. | |
| АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ПАРАМЕТРЫ ЗОН СОПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СФЕРИЧЕСКИХ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ С РАЗНЫМ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕМ СЛОЯ СКОЛЬЖЕНИЯ | 102 |

| | |
|---|-----|
| Халилов Т.И., Макаров Д.В., Петров Д.А. | |
| ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ФЕРРОНЕМАТИКЕ: МОДЕЛЬ С ВЕКТОРНЫМ И ТЕНЗОРНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПОРЯДКА | 106 |
| Хорошев Д.В., Ильялов О.Р., Устюжанцев Н.Е. | |
| БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЯСНИЧНОГО ПОЗВОНОЧНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО СЕГМЕНТА ЧЕЛОВЕКА: ФАСЕТОЧНЫЙ СУСТАВ | 110 |
| ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ | |
| Бушуев М.Ю. | |
| САМОЗАЩИТА КАК СПОСОБ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» | 115 |
| Вотинова Е.С., Чуприна С.И. | |
| АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ БАЗ ДАННЫХ ИЗ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ | 119 |
| Гурова А.А., Ланин В.В. | |
| РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТЕКСТОВЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ В КОРПУСАХ ТЕКСТОВ | 123 |
| Дорогина И.В., Бабилова А.С., Антонов А.А., Каменских А.А. | |
| РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АДАПТАЦИИ СТУДЕНТОВ ПНИПУ | 128 |
| Зайцев К.Н. | |
| РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ КОРПУСОВ ДЛЯ ПОРТАЛА ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ | 132 |
| Иксанова А.А., Ланин В.В. | |
| РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ ТЕКСТА НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ | 137 |

| | |
|--|-----|
| Корепанова Н.А. | |
| МУЛЬТИПЛИКАЦИЯ И ОБУЧЕНИЕ МАТЕМАТИКЕ | 143 |
| Мальцев Н.В., Чупин А.В. | |
| КРОСС-ЯЗЫКОВОЙ ВЕБ-СЕРВИС ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ ТАКСОНОМИИ ЛЮБОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА · | 147 |
| Марквирер В.Д., Сахипова М.С. | |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТА НА СОРЕВНОВАТЕЛЬНЫЙ СЕЗОН ДЛЯ ВЕЛОСИПЕДИСТА ПО ЕГО ТРЕНИРОВОЧНЫМ ДАНЫМ | 152 |
| Минин А.С., Чуприна С.И. | |
| КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРИИ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ ПРИБРЕТЕНИЯ ЗНАНИЙ | 158 |
| Мукоеева Я.Ю. | |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ XVIII В. НА ПРИМЕРЕ СЕМАНТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ (НА ОСНОВЕ ИС «СЕМОГРАФ») | 163 |
| Охота Б.В., Решетняк Р.М. | |
| ВЫДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ В ТЕКСТЕ | 168 |
| Салахов Р.Д., Ланин В.В. | |
| РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТА ПОИСКА В КОРПУСЕ ТЕКСТОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ | 171 |
| Сидоренко Д.О., Городилов А.Ю. | |
| ПОДВИЖНЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА | 177 |

Хомутов Я.С.

ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ МАСШТАБИРОВАНИЕ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ СЕТЕВОГО
ОБУЧЕНИЯ 181

МАТЕМАТИКА И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ЮРИДИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАТЕГОРИИ РИСКА ЧЛЕНОВ САМОРЕГУЛИРУЕМЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

Алексеев Александр Олегович, Адыева Татьяна Владимировна

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, naz.tatiana2015@ya.ru

Настоящая статья посвящена комплексному анализу методов определения категорий риска и классов (категорий) опасности объектов и лиц, подлежащих государственному контролю (надзору). Основное содержание исследования составляет анализ и соотнесение категорий риска через их значимость, в результате сопоставления нормативно-правовых документов. В статье анализируются четыре различных подхода к определению категории риска строительных организаций, состоящих в саморегулируемых организациях. Обоснован единственный корректный подход к определению категории риска членов саморегулируемых организаций в области инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования и строительства с правовой точки зрения и с математической точки зрения. Допускается, что выводы, сделанные в настоящей работе, при дополнительных исследованиях могут быть распространены на другие виды деятельности, где применяется саморегулирование и риск-ориентированный подход.

Ключевые слова: строительство, саморегулирование, риск-ориентированный подход, категории риска, матрица риска.

В настоящей работе исследуются юридические и математические проблемы определения категории риска членов саморегулируемых организаций (далее – СРО) в области инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования и строительства. В частности статья посвящена обоснованию корректного, с математической точки зрения, и допустимого, с правовой точки зрения, подхода к определению категории риска членов СРО.

Государственный строительный надзор был включен в перечень видов контроля, при которых применяется риск-ориентированный подход Постановлением Правительства РФ от 2 марта 2017 года № 245. Чуть позже Ведомственным приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 10 апреля 2017 г. № 699/пр была утверждена методика расчета значений показателей, используемых для оценки тяжести потенциальных негативных последствий возможного несоблюдения обязательных требований, оценки вероятности их несоблюдения членом саморегулируемой организации (далее – методика Минстроя России).

В результате анализа нормативно-правовых документов, регулирующих применение риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора), установлено (табл.1) соотнесение категорий риска и классов (категорий) опасности, определенных в постановлении Правительства РФ от 17 августа 2016 года № 806, а также категорий риска, используемых для оценки вероятности несоблюдения обязательных требований, определенных в методике Минстроя России. Соотнесение этих категорий устанавливается через значимость риска.

Таблица 1. Классы (категории) опасности и категории риска

| № П/П | Категории риска, согласно постановлению Правительства РФ от 17 августа 2016 года № 806, приказу ² Минстроя России от 10 апреля 2017 г. № 699/пр | Классы (категории) опасности, согласно постановлению Правительства РФ от 17 августа 2016 года № 806 | Значимость риска, согласно приказу Минстроя России от 10 апреля 2017 г. № 699/пр | Категории риска, используемые для оценки показателей вероятности, согласно приказу Минстроя России от 10 апреля 2017 г. № 699/пр |
|-------|--|---|--|--|
| 1 | Чрезвычайно высокий риск | 1 класс | 6 | Чрезвычайно высокая |
| 2 | Высокий риск | 2 класс | 5 | Очень высокая |
| 3 | Значительный риск | 3 класс | 4 | Высокая |
| 4 | Средний риск | 4 класс | 3 | Средняя |
| 5 | Умеренный риск | 5 класс | 2 | Низкая |
| 6 | Низкий риск | 6 класс | 1 | Очень низкая |

Согласно методике Минстроя России предлагается осуществлять отдельно расчет значений показателей тяжести потенциальных негативных последствий и отдельно расчет значений показателей вероятности несоблюдения обязательных требований. Далее вычисленные оценки показателей следует округлять вверх до целочисленного значения и по значимости риска (см. табл. 1) соотносить с категориями риска. Отдельный расчет показателей приводит к тому, что каждый член СРО характеризуется одновременно двумя категориями риска – с точки зрения вероятности и с точки зрения тяжести последствий.

В ходе изучения нормативно-правовых документов было обнаружено, что в соответствии с частью 3 статьи 8.1 Федерального закона от 26.12.2008 № 294-ФЗ «отнесение к определенному классу (категории) опасности осуществляется органом государственного контроля (надзора) с учетом тяжести потенциальных негативных последствий возможного несоблюдения юридическими лицами, индивидуальными предпринимателями обязательных требований, а к определенной категории риска – также с учетом оценки вероятности несоблюдения соответствующих обязательных требований». Другими словами, если говорим о тяжести последствий, то следовало бы использовать понятие класс (категорию) опасности, если о вероятности – категория риска. Далее в настоящей работе для различия вероятности и тяжести последствий также будем пользоваться понятиями категория риска и класс (категория) опасности соответственно.

Часть 2 статьи 8.1 Федерального закона от 26.12.2008 № 294-ФЗ в редакции Федерального закона от 13.07.2015 № 246-ФЗ определяет, что «риск-ориентированный подход представляет собой метод организации и осуществления государственного контроля (надзора), при котором выбор интенсивности ... проведения мероприятий по контролю ... определяется отнесением ... к определенной категории риска либо определенному классу (категории) опасности». Другими словами, государственный регулятор изначально допускал использование либо категории риска, либо класса (категории) опасности в рамках контрольной (надзорной) деятельности. Очевидно, что в рамках действующего законодательства лицом, осуществляющим контролируемую (надзорную) функцию, интенсивность проверок выбирается по «наихудшей» категории риска либо классу опасности. Иначе игнорировалось бы предписываемые законодательством формы, продолжительности и периодичности контрольных мероприятий.

Для обозначения категорий риска, учитывающих вероятности несоблюдения обязательных требований членом СРО и классов (категорий) опасности, учитывающих тяжесть последствий их несоблюдения соответственно введем переменные $X_P \in P$ (от англ. Probability, вероятность) и $X_C \in C$ (от англ. Consequences, последствия). Далее для общности

² именно эти категории согласно методике Минстроя России используются для оценки показателей тяжести последствий несоблюдения обязательных требований.

рассуждений в данной работе будем использовать полный перечень из 6 категорий риска и 6 балльных значений, соответствующих их значимости (см. табл. 1). Таким образом, множества численных значений введенных переменных задаются следующим образом $P=\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ и $C=\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$.

Сочетания категорий вероятности несоблюдения обязательных требований членом СРО и тяжести последствий их несоблюдения можно представить в виде матрицы рисков, базисом которой являются введенные множества P и C . Соответственно матрица риска имеет размерность 6×6 . Элементы матрицы представляют собой балльные оценки, соответствующие категориям риска (для семантического отличия категорий риска, соответствующих элементам матрицы риска, далее их предлагается называть **обобщенными категориями риска**, обобщенными, поскольку учитывают и вероятность, и тяжесть последствий вместе). Обобщенную категорию риска будем записывать далее $X_R(X_P, X_C)$, $X_R \in R$ (от англ. Risk, риск), $R=\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$.

Основываясь на том предположении, что лицо, осуществляющее надзорную (контролирующую) функцию, должно выбирать «наихудшую» категорию риска или класс опасности, можно определить вид матрицы риска – каждый элемент равен максимальному значению строки или столбца (рис. а). В этом случае матрица риска получается симметричной, т.е. данный подход не делает различий между вероятностью и тяжестью последствий, следовательно, члены СРО будут подвержены одинаковому количеству проверок. Однако, одинаковая проверка организаций, которые **по существу** обладают различным уровнем риска, противоречит изначальной цели внедрения риск-ориентированного подхода, заключающейся в оптимизации ресурсов, затрачиваемых на осуществление контрольной (надзорной) деятельности. Так, многочисленные опросы экспертов показывают, что класс (категория) опасности имеют больший приоритет при определении обобщенной категории риска. Если допустить, что руководство СРО будет в праве самостоятельно определять обобщенные категории риска в соответствии с их представлением об опасности сочетаний категорий вероятности несоблюдения обязательных требований членом СРО и тяжести последствий их несоблюдения, то элементы матрицы риска могут быть иными. В предыдущей работе авторов [1] предлагался именно такой подход, позволяющий более дифференцированно подойти к определению обобщенных категорий риска. На рисунке (рис. б) представлен пример возможного заполнения матрицы риска руководством СРО.

| | | | | | | |
|-------|---|---|---|---|---|-------|
| | | | | | | X_P |
| | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 6 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 2 |
| | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| X_C | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |

а)

| | | | | | | | |
|-------|---|---|---|---|---|-------|---|
| | | | | | | X_P | |
| | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 4 | 6 |
| | 6 | 5 | 5 | 4 | 4 | 3 | 5 |
| | 6 | 5 | 4 | 4 | 3 | 2 | 4 |
| | 6 | 5 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 |
| | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| X_C | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | |

б)

Рис. Матрицы рисков, определяющие связь между обобщенными категориями риска и сочетаниями категории риска X_P и класса (категории) опасности X_C :

- а) – элементы определены по максимальному значению строки или столбца;
- б) – элементы определены экспертно руководством СРО;

Фактически, производство строительных работ представляет собой сложный технологический процесс, в котором задействованы различные машины и механизмы, а также происходит перемещение строительных материалов и конструкций, что определяет наличие большого числа источников риска, которые традиционно называют факторами риска. В методике Минстроя России агрегировать факторы риска предлагается путем

вычисления среднеарифметической оценок по набору оценок значимости рисков всех учтенных факторов с последующим округлением вверх до целочисленного значения.

Ранее в работе [1] рассматривались два подхода к расчету оценок X_P и X_C . Так, в качестве сравниваемых подходов использовалось вычисление среднеарифметического, как это предложено в методике Минстроя России, и взвешенного арифметического на основе баллов, соответствующих присвоенным категориям риска различным факторам риска. Первый подход фактически соответствует тому, что все факторы риска имеют одинаковую значимость при определении категории риска. Второй подход учитывает занимаемую долю каждого фактора риска среди всех факторов, т.е. более дифференцированно подходит к самим факторам риска. Естественно, что разные подходы давали совпадающие результаты только в частных случаях. Как отмечалось выше, чтобы каждый член СРО характеризовался единой категорией риска в [1] предлагалось использовать матрицу риска (см. рис.) для определения обобщенной категории риска. Использование матриц риска выделяет еще одно направление для альтернативных подходов к расчету единой категорией риска члена СРО. Например, вначале для каждого фактора риска определять обобщенные категории риска, учитывая тяжесть последствий и вероятность по матрице сочетаний, а затем эти обобщенные категории агрегировать в единую оценку по всем факторам риска. В таком подходе также возможно использование как среднеарифметической, так и взвешенной арифметической для агрегирования обобщенных оценок по факторам. Таким образом, теоретически возможны четыре подхода к определению категории риска (табл. 2).

Таблица 2. Возможные подходы к определению категории риска при учете нескольких факторов риска

| Подход к обобщению категории | Определение категории риска при отдельном учете последствий и вероятности | Определение категории риска при одновременном учете последствий и вероятности |
|------------------------------|---|---|
| Среднеарифметическая | Подход №1 | Подход №3 |
| Взвешенная арифметическая | Подход №2 | Подход №4 |

Какой из этих подходов (см. табл. 2) следует применять для определения категории риска членов СРО, оставался открытым вопросом.

В работе [2, с. 38–41], где исследуются матричные механизмы комплексного оценивания сложных объектов в условиях неопределенности, было наглядно показано, что некорректно вычислять математическое ожидание по распределению вероятностей сворачиваемых критериев и затем осуществлять непрерывное вычисление комплексной оценки по матрице свертки. Применительно к рассматриваемой в настоящей работе задаче, матрицу риска можно считать матрицей свертки, а множества категорий риска P и C можно считать сворачиваемыми критериями. Тогда в силу сказанного выше некорректно вычислять математические ожидания $E(X_P)$ и $E(X_C)$ и агрегировать их по матрице риска, что исключает подход № 1 и № 2 (см. табл. 2).

Там же в [2, с. 38–41] отмечалось, что комплексное оценивание при наличии распределения вероятностей корректно осуществлять путем определения вероятностей того, что комплексная оценка будет являться конкретным элементом матрицы. Поскольку матрица свертки образует полную группу событий, то вероятность того, что оцениваемый объект будет иметь определенную комплексную оценку, определяется суммой вероятностей элементов, в которых расположена эта оценка. После вычисления вероятностей для всех комплексных оценок можно вычислять математическое ожидание. Применительно к данной задаче это означает, что для каждого i -го фактора риска надо определить обобщенную категорию риска $X_R^i(X_P^i, X_C^i)$ ³. После можно вычислить математическое ожидание $E(P(X_R(X_P, X_C)))$. Поскольку математическое ожидание в частном случае соответствует

³ индекс сверху i соответствует порядковому номеру факторов риска

среднеарифметической, то можно сделать общий вывод, что среди оставшихся возможных подходов № 3 и № 4, именно подход № 3 является единственным подходящим.

Таким образом, в настоящей работе обоснован корректный, с математической точки зрения, и допустимый, с правовой точки зрения, подход к определению категории риска членов СРО в области инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования и строительства. Стоит признать, что сделанные в настоящей работе выводы при дополнительных исследованиях могут быть распространены на другие виды деятельности, где применяется саморегулирование и риск-ориентированный-подход.

Библиографический список

1. *Алексеев А.О., Адыева Т.В.* Определение категории риска строительных организаций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 4 (34). – С. 146–151.
2. Математические и инструментальные методы комплексного оценивания сложных объектов в условиях неопределенности: учеб. пособие / А.О. Алексеев. – Пермь: Изд-во перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2019. – 100 с.

LEGAL AND MATHEMATICAL PROBLEMS OF DEFINING THE RISK CATEGORY OF MEMBERS OF SELF-REGULATORY ORGANIZATIONS

Alekseev Alexander O., Adyeva Tatiana V.

Perm National Research Polytechnic University,
Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614000, naz.tatiana2015@ya.ru

This article is devoted to a comprehensive analysis of methods for determining risk categories and classes (categories) of hazard of objects and persons subject to state control (supervision). The main content of the study is the analysis and correlation of risk categories through their significance, as a result of comparison of regulatory documents. The article analyzes four different approaches to defining the risk category of construction organizations that are in self-regulatory organizations. The only correct approach to determining the risk category of members of self-regulatory organizations in the field of engineering surveys, architectural design and construction from a legal point of view and from a mathematical point of view has been substantiated. It is assumed that the conclusions made in this work, with additional research, can be extended to other types of activities where self-regulation and a risk-based approach are applied.

Keywords: construction, self-regulation, risk-based approach, risk categories, risk matrix.

К ТЕОРИИ МУЛЬТИПЛИКАТИВНО ИДЕМПОТЕНТНЫХ ПОЛУКОЛЕЦ

Вечтомов Евгений Михайлович, Петров Андрей Александрович

Вятский государственный университет,
610000, Россия, г. Киров, ул. Московская 36 vecht@mail.ru

Аннотация. Работа представляет собой краткий обзор теории мультипликативно идемпотентных полуколец, содержит некоторые наши новые результаты. Цель статьи – познакомить молодых математиков с одним из важных разделов современной теории полуколец. Класс мультипликативно идемпотентных полуколец достаточно широкий, содержит булевы кольца и дистрибутивные решётки. Выделены основные направления развития теории мультипликативно идемпотентных полуколец: обобщение кольце-модульной тематики; универсально-алгебраическое направление; изучение конечных полуколец и их приложений. По каждому из этих направлений сформулированы соответствующие результаты (теоремы 1–5). Приведены структурные свойства мультипликативно идемпотентных полуколец. Рассмотрены характерные результаты о конечных мультипликативно идемпотентных полукольцах и ряд примеров.

Ключевые слова: полукольцо, конечное полукольцо, мультипликативно идемпотентное полукольцо.

Теория мультипликативно идемпотентных полуколец рассматривалась нами в работах [1; 2; 6]. Общей теории полуколец посвящена известная монография Голана [3].

1. Исходные понятия. Под *полукольцом* понимается алгебраическая структура $\langle S, +, \cdot \rangle$ с двумя бинарными операциями сложения $+$ и умножения \cdot , такая, что: $\langle S, + \rangle$ – коммутативная полугруппа, $\langle S, \cdot \rangle$ – полугруппа, умножение дистрибутивно относительно сложения с обеих сторон.

Полукольцо называется *коммутативным*, если на нём тождественно $xu=ux$. Полукольцо с тождеством $xx=x$ (с тождеством $x+x=x$) называется *мультипликативно идемпотентным* (соответственно, *аддитивно идемпотентным*). Мультипликативно и аддитивно идемпотентное полукольцо называется *идемпотентным*. Полукольцо с тождеством $x+y=xu$ называется *моно-полукольцом*. Будем говорить, что полукольцо S обладает *константным сложением*, если оно удовлетворяет тождеству $x+y=u+v$.

Заметим, что класс мультипликативно идемпотентных полуколец образует многообразие, содержащее все булевы кольца и все дистрибутивные решётки.

Если в полукольце S существует элемент 0 , нейтральный по сложению и поглощающий по умножению, то S называется *полукольцом с нулём* 0 . Если полукольцо S обладает элементом 1 , нейтральным по умножению, то S называется *полукольцом с единицей* 1 .

Элемент θ полукольца S называется *поглощающим по умножению* (*поглощающим по сложению*), если для всех $x \in S$ выполняется $\theta x = x \cdot \theta = \theta$ (соответственно, $x + \theta = \theta$). Элемент полукольца, поглощающий по сложению и по умножению, назовем просто *поглощающим* и обозначим ∞ .

К любому полукольцу S можно естественным образом присоединить нулевой элемент 0 или поглощающий элемент ∞ . Обозначим полученные полукольца $S \cup \{0\}$ и $S \cup \{\infty\}$, соответственно.

Для полукольца S с нулём 0 через $r(S)$ обозначим множество всех его аддитивно обратимых элементов, которое является идеалом в S . Ясно, что для мультипликативно идемпотентного полукольца S с нулём множество $r(S)$ будет булевым кольцом. Полукольцо S с нулём 0 называется *антикольцом*, если $r(S) = \{0\}$, то есть на S выполняется квазитожество $x+y=0 \Rightarrow x=0$.

Полукольцо называется: *подпрямо неразложимым*, если на нём существует наименьшая ненулевая конгруэнция; *конгруэнц-простым*, если оно обладает ровно двумя конгруэнциями: отношением равенства и одноклассовой.

Собственный идеал P полукольца S называется *первичным (простым)*, если для любых $a, b \in S$ из $aSb \subseteq P$ ($ab \in P$) следует $a \in P$ или $b \in P$.

Будем говорить, что полукольцо S с нулём обладает *аннуляторным свойством*, если для любых элементов $a, b \in S$ равенство их аннуляторов $\text{Ann } a = \text{Ann } b$ влечёт равенство элементов $a=b$. Здесь $\text{Ann } a = \{s \in S: sa=0\}$ – левый *аннулятор* элемента a . Отметим, что в классе колец аннуляторным свойством обладают в точности булевы кольца [4, теорема 1].

С точностью до изоморфизма существует ровно шесть двухэлементных мультипликативно идемпотентных полуколец: цепь $\mathbf{B} = \{0, 1\}$; поле $\mathbf{Z}_2 = \{0, 1\}$; идемпотентное моно-полукольцо $\mathbf{D} = \{1, \infty\}$; полукольцо $\mathbf{T} = \{1, \infty\}$ с константным сложением ($x+y=\infty$); идемпотентное полукольцо $\mathbf{L} = \{a, b\}$ с тождеством $xu = x$; идемпотентное полукольцо $\mathbf{R} = \{a, b\}$ с тождеством $xu = y$.

2. Основные направления. В развитии теории мультипликативно идемпотентных полуколец выделяются следующие направления.

I. Обобщение и расширение теории колец и модулей на полукольца и полумодули над ними. Исследуются полукольца с 0 и, как правило, с 1 .

В качестве иллюстрации сформулируем следующую теорему:

Теорема 1. Для любого полукольца S с нулём равносильны следующие утверждения: 1) S – коммутативное мультипликативно идемпотентное полукольцо, в котором все первичные идеалы максимальны; 2) S – мультипликативно идемпотентное полукольцо с аннуляторным условием, первичные идеалы которого являются максимальными идеалами; 3) S изоморфно прямому произведению булева кольца и обобщённой булевой решётки.

II. Универсально-алгебраическое направление, в котором изучаются полукольца в широком понимании, в том числе и с некоммутативным сложением. Важную роль играют свободные полукольца, расширения полуколец, различные многообразия полуколец и решётки их подмногообразий.

Приведём несколько иллюстрирующих результатов.

Теорема 2 [1, предложение 3.3.2]. Конечнопорождённые мультипликативно идемпотентные полукольца конечны.

Теорема 3 [1, параграф 6.1]. Существуют подпрямо неразложимые коммутативные идемпотентные полукольца любой мощности ≥ 2 как с нулём, так и с поглощающим элементом.

Теорема 4 [5]. Многообразие полуколец, порождённое полукольцами \mathbf{B} , \mathbf{Z}_2 , \mathbf{D} и \mathbf{T} , в классе всех полуколец задаётся тремя тождествами $xx=x$, $xu=ux$ и $x+2xy+yz=x+2xz+yz$. Решётка всех подмногообразий этого многообразия изоморфна 16-элементной булевой решётке.

III. Конечные полукольца, их применение в дискретной математике, теории кодирования и криптографии. Их изучению посвящена глава 3 из [1].

Обозначим через FM_n свободное коммутативное мультипликативно идемпотентное полукольцо с конечным числом n свободных образующих.

Теорема 5 [1, параграф 3.2]. Свободное полукольцо FM_1 содержит 3 элемента, FM_2 – 19 элементов, FM_3 – 2289 элементов.

3. Структурные свойства. Перечислим ряд общих специфических свойств мультипликативно идемпотентных полуколец S .

Свойство 1 [1, предложение 1.2.5]. В S выполняются тождества: $4x=2x$; $x+2xy+y=x+y$; $x+3xy=x+xy$.

Свойство 2. В S первичные идеалы совпадают с простыми идеалами.

Свойство 3. Максимальные идеалы полукольца S будут простыми.

Свойство 4. Каждый идеал в S есть пересечение простых идеалов.

Свойство 5 [1, предложение 1.2.5]. Любое мультипликативно идемпотентное полукольцо S с нулём S коммутативно в нуле.

Свойство 6 [1, теорема 1.2.1]. Для того, чтобы произвольное полукольцо S было коммутативно и мультипликативно идемпотентно, необходимо и достаточно, чтобы простые идеалы полукольца S разделяли его элементы.

Свойство 7. Полукольцо S инвариантно (все его односторонние идеалы являются идеалами), тогда и только тогда, когда оно коммутативно.

Заметим, что в некоммутативном идемпотентном полукольце $L=\{a,b\}$ два правых идеала $\{a\}$, $\{b\}$, но только само L является (двусторонним) идеалом, значит, в некоммутативном L все левые идеалы будут идеалами.

Свойство 8 [1, предложение 1.2.7]. Решётка всех идеалов полукольца S дистрибутивна.

Решётка всех конгруэнций полуколец S не обязана быть модулярной.

Свойство 9. Всякое коммутативное конгруэнц-простое мультипликативно идемпотентное полукольцо изоморфно \mathbf{B} , \mathbf{Z}_2 , \mathbf{D} или \mathbf{T} .

Свойство 10. Любое конгруэнц-простое мультипликативно идемпотентное полукольцо с нулём изоморфно либо \mathbf{B} , либо \mathbf{Z}_2 .

Важную роль в структурной теории мультипликативно идемпотентных полуколец играет понятие расширения полуколец, которое исследуется в параграфе 4.2. монографии [1].

4. Конечные полукольца. Приведём ряд результатов, касающихся конечных мультипликативно идемпотентных полуколец.

Теорема 6 [1, теорема 4.1.1]. Всякое конечное мультипликативно идемпотентное полукольцо S с нулём разлагается в прямую сумму однозначно определённых конечного булева кольца $r(S)$ и конечного мультипликативно идемпотентного антикольца.

Хорошо известно, что любое неодноэлементное конечное булево кольцо изоморфно некоторой конечной прямой степени поля \mathbf{Z}_2 , а конечные булевы решётки изоморфны конечным прямым степеням цепи \mathbf{B} .

Пример 1. Рассмотрим пятиэлементное полукольцо $S=(\mathbf{L}\times\mathbf{R})\cup\{0\}$. Получаем некоммутативное идемпотентное полукольцо S с нулём, без единицы, имеющее ровно два идеала: нулевой $\{0\}$ и само S . Нулевой идеал в S является простым и максимальным. Поэтому условие коммутативности в утверждении 1) теоремы 1 существенно. Отметим также, что вместо $\mathbf{L}\times\mathbf{R}$ можно взять любое неодноэлементное *прямоугольное* полукольцо, то есть полукольцо с тождеством $xux=x$.

Пример 2. Существуют бесконечные дистрибутивные решётки с нулём и единицей, обладающие аннуляторным свойством, но не являющиеся булевыми решётками [4, пример 2]. Именно, пусть L – множество всех конечных подмножеств множества \mathbf{N} натуральных чисел и всевозможных подмножеств в \mathbf{N} , содержащих все чётные числа. Тогда $\langle L, \cup, \cap \rangle$

будет небулевой дистрибутивной решёткой с нулём \emptyset и единицей \mathbf{N} , удовлетворяющей аннуляторному свойству.

Предложение 1. Конечные мультипликативно идемпотентные полукольца с нулём, имеющие нечётное число элементов, являются антикольцами.

Предложение 2. С точностью до изоморфизма существует ровно 43 трёхэлементных мультипликативно идемпотентных полукольца. Среди этих полуколец 19 коммутативных, 23 идемпотентных, 12 подпрямо неразложимых, 2 конгруэнц-простых.

Предложение 3. С точностью до изоморфизма существует 46 четырёхэлементных мультипликативно идемпотентных полукольца с нулём: $S \cup \{0\}$ по всем трёхэлементным мультипликативно идемпотентным полукольцам S , $\mathbf{Z}_2 \times \mathbf{Z}_2$, $\mathbf{Z}_2 \times \mathbf{B}$ и $\mathbf{B} \times \mathbf{B}$. Среди них 17 полуколец с нулём и единицей.

Замечание 1. Присоединяя к трёхэлементным мультипликативно идемпотентным полукольцам S поглощающий элемент, получим ещё 43 четырёхэлементное мультипликативно идемпотентное полукольцо $S \cup \{\infty\}$.

Замечание 2. К мультипликативно идемпотентному полукольцу S присоединим внешним образом единичный элемент 1 ($\forall x \in S \cup \{1\} \ 1 \cdot x = x = x \cdot 1$). Доопределим операцию сложения в $S \cup \{1\}$, положив тождественно: 1) $1+x=1=x+1$; 2) $1+x=x=x+1$. Алгебраическая структура $\langle S \cup \{1\}, +, \cdot \rangle$ будет полукольцом тогда и только тогда, когда полукольцо S является дистрибутивной решёткой в случае 1) и идемпотентным моно-полукольцом в случае 2); см. [1, лемма 2.2.4 и предложение 2.3.1] При этом полученное полукольцо $S \cup \{1\}$ само станет дистрибутивной решёткой в первом случае и идемпотентным моно-полукольцом во втором случае. Например, $\mathbf{B} \cup \{1\}$ есть трёхэлементная цепь. Отметим, что существует всего два трёхэлементных идемпотентных моно-полукольца $\mathbf{D} \cup \{1\}$ и S , при этом четырёхэлементное идемпотентное моно-полукольцо $S \cup \{1\}$ не изоморфно ни одному из 89 четырёхэлементных полуколец из предложений 2 и 3.

Замечание 3. В статье [6] описаны (заданы таблицами Кэли) все трёхэлементные аддитивно идемпотентные полукольца; с точностью до изоморфизма их число равно 61.

Библиографический список

1. Вечтомов Е. М., Петров А. А. Полукольца с идемпотентным умножением. Киров: Изд-во ООО «Радуга-ПРЕСС», 2015. 144 с.
2. Vechtomov E. M., Petrov A. A. Multiplicatively Idempotent Semirings // Journal of Mathematical Sciences (New York). 2015. V. 206, Issue 6. P. 634–653.
3. Golan J. S. Semirings and their applications. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht-Boston-London, 1999. 382 p.
4. Вечтомов Е. М. Аннуляторные характеристики булевых колец и булевых решеток // Математические заметки. 1993. Т. 53, вып. 2. С. 15–24.
5. Вечтомов Е. М., Петров А. А. Многообразие полуколец, порожденное двухэлементными полукольцами с коммутативным идемпотентным умножением // Чебышевский сборник. 2014. Т. XV, вып. 2. С. 12–30.
6. Zhao X., Ren M., Crvenković S., Shao Y., Dapić P. The variety generated by an ai-semiring of order three // Ural Mathematical Journal. 2020. V. 6, Issue 2, P. 117–132.

ABOUT THEORY OF MULTIPLICATIVELY IDEMPOTENT SEMIRINGS

Vechtomov Evgeny M., Petrov Andrey A.

Vyatka State University, 36, Moskovskaya st., Kirov, 610000, Russia, vecht@mail.ru

Abstract. The article is a brief survey of theory of multiplicatively idempotent semirings and contains some of our new results. The purpose of the article is to acquaint young mathematicians with one of important sections of the modern theory of semirings. The class of multiplicatively idempotent semirings is wide enough and contains Boolean rings and distributive lattices. The main directions of development of the theory of multiplicatively idempotent semirings are highlighted. They are: generalization of the ring-module topic; universal algebraic direction; study of finite semirings and their applications. For each of these directions, the corresponding results are formulated (Theorems 1–5). Structural properties of multiplicatively idempotent semirings are given. The characteristic results about the finite multiplicatively idempotent semirings and a number of examples are considered.

Keywords: semiring, finite semiring, multiplicatively idempotent semiring.

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОРТФЕЛЯ МАРКОВИЦА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ

Гарафутдинов Роберт Викторович

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

Условием применения современной портфельной теории является наличие эффективного фондового рынка. В то же время результаты исследований показывают, что рынки не всегда соответствуют критериям эффективности. В статье описана методика формирования оптимальных инвестиционных портфелей с применением методов фрактального анализа и прогнозных моделей, которая гипотетически позволяет получать портфели с хорошим соотношением доходности и риска на фрактальном рынке. Методика включает два этапа: отбор в портфель активов по критерию минимальной величины фрактальной размерности их ценового ряда; прогнозирование рядов доходностей активов с использованием предсказывающих моделей.

Ключевые слова: инвестиционный портфель, современная портфельная теория, фрактальный анализ, фрактальная размерность, прогнозирование доходности.

Для поддержки принятия инвестиционных решений портфельных инвесторов существует разнообразный инструментарий экономико-математических моделей и методов управления портфелем, основанный на классических результатах Г. Марковица [1]. Основная идея этих результатов состоит в том, что инвестор принимает решение, оценивая математическое ожидание и стандартное отклонение доходности портфеля. На данных принципах основана современная портфельная теория (МРТ), заложенная Марковицем и развитая Шарпом, Тобином и др. Обладая информацией о прошлых значениях доходностей ценных бумаг, инвесторы, в том числе и непрофессиональные, с использованием модели оптимального портфеля формируют индивидуальные портфели с учетом риска и ожидаемой доходности. Условием применимости классической теории и методологии портфельного инвестирования является наличие развитого и эффективного фондового рынка. Согласно гипотезе эффективного рынка (ЕМН), вся значимая информация немедленно и в полной мере отражается в ценах, они являются практически непредсказуемыми, а их динамика описывается моделью случайного блуждания [2]. Современными исследованиями показано, что ЕМН входит в противоречие с практикой [3]. Существует альтернативная гипотеза фрактального рынка (ФМН), предложенная Б. Мандельбротом [4]. Согласно ей, финансовые рынки обладают не случайной, а хаотической, а следовательно, предсказуемой динамикой развития, при этом показатели финансовых активов обладают распределениями с толстыми хвостами, а ценовые ряды характеризуются наличием фрактальных свойств, что выражается в их свойстве персистентности – долговременной корреляционной зависимости (длинной памяти). В свете вышесказанного, так как рынок не является эффективным, разумным видится следующее предположение: модификация классического подхода к формированию инвестиционных портфелей с применением методов фрактального анализа позволит улучшить показатели получаемых портфелей и добиться превосходства над «рыночным портфелем». Подобные попытки исследователями предпринимались (см., например, работы

[5, 6, 7]), но, с нашей точки зрения, работа в данном направлении ведется недостаточно активно. Этим обусловлена актуальность данного исследования.

Использованию фрактального подхода при формировании инвестиционных портфелей посвящено не так много работ. Так, в статье [5] описан способ формирования портфелей из четырех активов, отобранных по критерию минимальной величины фрактальной размерности их ценовых рядов. В работе [6] опробован способ оптимизации структуры портфеля из четырех активов с применением прогнозов их доходностей, полученных с помощью модели ARFIMA. В работе [7] при формировании портфелей из двух активов сравниваются модели ARFIMA и ARFIMA-GARCH, причем выявлено, что портфели на базе последних в среднем обладают большей доходностью и лучшим соотношением доходности и риска.

По нашему мнению, оправданным выглядит объединение подходов, изложенных в работах [5–7] **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, в единую методику. Это позволило бы предложить решение стоящих перед инвестором задач выбора активов для включения в портфель и оптимизации их соотношения в портфеле на фрактальном рынке.

Предлагаемая методика состоит из двух этапов.

Этап 1. Сначала необходимо сформировать пул финансовых активов, потенциально пригодных для включения в портфель. Для этого можно воспользоваться существующими подходами, например, взять акции «голубых фишек», входящие в корзину фондового индекса. Затем необходимо из этого пула отобрать активы по критерию минимальной величины фрактальной размерности их ценовых рядов. Для этого по ценовым рядам всех рассматриваемых активов нужно вычислить оценки их фрактальной размерности одним из существующих методов, например, методом минимального покрытия [5]. При этом из рассмотрения надо исключить активы, не имеющие предыстории котировок достаточной длины (длина варьируется для разных методов оценки размерности), а также активы с неположительной среднемесячной доходностью (данный критерий необходим, потому что величина фрактальной размерности может сигнализировать о наличии тренда, но ничего не сообщает о его направлении). Полученный перечень активов следует отсортировать по возрастанию оценок размерности и отобрать n первых из них, из которых и будет составлен портфель. Определение оптимальной величины n и формирование соответствующих рекомендаций требуют отдельных исследований.

Этап 2. На втором этапе необходимо подобрать структуру портфеля из отобранных n активов таким образом, чтобы он обладал максимальной доходностью при минимальном риске, то есть решить задачу оптимизации, выраженную в поиске наилучших весов активов. Для этого следует получить ряды прогнозных доходностей каждого актива, применив те или иные предсказывающие модели, и уже по прогнозным рядам вычислять целевые функции оптимизации (средняя доходность, риск либо их отношение – коэффициент Шарпа). Как показано в работах [6, 7], в качестве предсказывающих алгоритмов могут быть эффективно использованы модели с длинной памятью – ARFIMA, ARFIMA-GARCH. Интересным также было бы сравнить их с классическими моделями с короткой памятью (ARIMA, SGARCH). Такое сравнение проводилось в исследовании [8], но не в рамках применения моделей для формирования инвестиционного портфеля.

Таким образом, в данной статье предложена и описана в первом приближении методика формирования оптимального инвестиционного портфеля Марковица с применением методов фрактального анализа и моделей для прогнозирования доходности, которая теоретически может улучшить показатели получаемых портфелей в сравнении с некоторыми другими подходами. Логичным продолжением работы в этом направлении является ее апробация на данных фондового рынка. В качестве предсказывающих алгоритмов могут быть применены различные эконометрические модели (ARIMA, ARFIMA, ARFIMA-GARCH), а также искусственные нейронные сети: прогнозирование финансовых рядов с помощью последних набирает популярность среди исследователей.

Библиографический список

1. *Markowitz H.* Portfolio selection: Efficient Diversification of Investments. Wiley, N.Y. 1991. 402 p.
2. *Fama E.F.* Efficient capital markets: A review of theory and empirical // *The Journal of Finance.* 1969. Vol. 25, no. 2. Pp. 383–417.
3. *Ватрушкин С.В.* Оценка временных эффектов на рынках стран БРИКС // *Финансы и кредит.* 2018. Т. 24, вып. 15. С. 913–928.
4. *Mandelbrot B.* The Fractal Geometry of Nature. W.H. Freeman, San Francisco. 1983. 468 p.
5. *Гарафутдинов Р.В., Гурова Е.П.* Об одном подходе к формированию инвестиционного портфеля Марковица с применением фрактального анализа // *Финансы и бизнес.* 2021. Вып. 17 (1). С. 77–93. DOI: 10.31085/1814-4802-2021-17-1-77-93
6. *Гарафутдинов Р.В.* Применение моделей с длинной памятью для прогнозирования доходности при формировании инвестиционных портфелей // *Прикладная математика и вопросы управления.* 2021. № 2. С. 163–183. DOI: 10.15593/2499-9873/2021.2.10
7. *Гарафутдинов Р.В.* Формирование инвестиционных портфелей из двух активов на базе прогнозных доходностей с применением модели ARFIMA-GARCH // *Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика.* 2021. Т. 23, № 2. С. 130–136. (На англ. яз.). DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2021.2.11>
8. *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

METHODOLOGY OF OPTIMAL MARKOWITZ INVESTMENT PORTFOLIO FORMATION USING FRACTAL ANALYSIS METHODS AND FORECASTING MODELS

Garafutdinov Robert V.

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

Abstract. The prerequisite for the application of modern portfolio theory is the existence of an efficient stock market. At the same time, the results of studies show that markets do not always meet the criteria of efficiency. The paper describes the methodology of forming optimal investment portfolios using methods of fractal analysis and predictive models, which hypothetically allows to obtain portfolios with a good ratio of profitability and risk in the fractal market. The methodology includes two stages: the selection of assets into the portfolio by the criterion of the minimum value of the fractal dimension of their price series; prediction of the series of returns on assets using predictive models.

Keywords: investment portfolio, modern portfolio theory, fractal analysis, fractal dimension, return forecasting.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ КОМПЛЕКСНОГО ОЦЕНИВАНИЯ К СОГЛАСОВАНИЮ ГРАФА

Катаева Татьяна Александровна

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, tatyana.kataeva2014@yandex.ru

Показана актуальность применения матричных механизмов комплексного оценивания, в частности, матричного анонимного и неанонимного обобщенного медианного механизма комплексного оценивания, которые отличаются возможностью перестановки оценок при ранжировании результатов оценивания решения задачи согласования структуры графа – одного из элементов кортежа, которым задаются механизмы комплексного оценивания. Приведено краткое описание матричного анонимного и неанонимного механизмов, а также представлено понятие неманипулируемости как свойства, которым обладают данные механизмы. Приведены логические операции, которые могут быть применимы к согласованию матриц свертки при решении задачи согласования структуры графа. Представлено решение задачи согласования структуры графа. Показана актуальность практического применения, обоснована целесообразность дальнейших разработок в области согласования структуры графа, задающего последовательность свертки критериев.

Ключевые слова: механизм комплексного оценивания, неманипулируемость, неанонимность, анонимность, механизм согласования интересов, активный агент, виртуальный агент.

Введение

С развитием информационного общества принятие решений в организациях усложнилось обилием информации и ускорением всех процессов переработки информации. Кроме того, процессы принятия решений в рамках организационной системы изначально сложны тем, что решения принимаются коллективно, зачастую возникает конфликт интересов, при этом, каждый активный агент стремится максимизировать свою целевую функцию, что приводит к возможному искажению информации для управляющего центра. Все это тормозит процессы принятия решений и снижает в конечном итоге способность организационной системы оперативно реагировать на изменения внешней среды. Таким образом, лица принимающие решения вынуждены искать способы повышения гибкости, инструменты и механизмы, которые бы позволяли принимать решения быстро, но в то же время качественно, основываясь на исчерпывающем количестве истинных данных. На данный момент в качестве механизмов поддержки принятия управленческих решений, которые позволяют учитывать много факторов, мнения большого количества экспертов, а также обладающие свойствами неманипулируемости, применяются матричные механизмы комплексного оценивания [1].

Механизм комплексного оценивания задается совокупностью критериев, набором термов, функций приведения, графа и набора матриц свертки. При решении задачи управления практически/зачастую принимают за аксиому, что структура дерева критериев задана, и матричный механизм комплексного оценивания используется для согласования матриц свертки. Однако, для принятия решений согласованный граф означает, что, имея

заданный показатель, мы можем подобрать параметры и такую их последовательность, которые привели бы к достижению заданного показателя. Данный критерий зачастую определяет результат принятия решения. Поэтому, на практике требуется согласовать саму структуру графа.

Таким образом, цель данной статьи – согласовать граф, который задает набор факторов оценки и последовательность их свертки.

Попробуем решить данную задачу с помощью матричного анонимного обобщенного медианного механизма (далее МАОММ) и матричного неанонимного обобщенного медианного механизма (далее МНОММ).

Неманипулируемость анонимной процедуры голосования при согласовании матриц свёртки доказана в работе Алексеева А.О. [2], неанонимной – в работе Катаевой Т.А., Алексеева А.О. [3]. Напомним, неманипулируемой считается такая процедура оценки, при участии в которой эксперту не выгодно исказить информацию, так как разница между истинным мнением эксперта и результатом активной экспертизы меньше, чем между искаженным и результатом оценки. В данном случае справедливо выражение (1).

$$|m_a - z(m_a, s_{-a})| \leq |m_a - z(m_a + \delta, s_{-a})|, \forall a, a = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Где s_{-a} – множество сообщений агентов, m_a – истинное мнение агента, $z(s_a, s_{-a})$ – результат медианного механизма согласовани. При этом, разница по модулю между истинным мнением агента m_a и результатом активной экспертизы при сообщении агентом a своего истинного мнения $z(m_a, s_{-a})$ меньше или равна разницы по модулю между истинным значением m_a и результатом согласования при сообщении им искаженного мнения $z(m_a + \delta, s_{-a})$. То есть, любому агенту нет необходимости исказить свои оценки.

В МАОММ к сообщениям агентов (s_i) добавляются сообщения фантомов, т.е. несуществующих экспертов (w_i), которые вычисляются по выбранной процедуре π , удовлетворяющей условиям монотонности, непрерывности и единогласия. Результатом активной экспертизы является матрица, элементы которой всегда являются медианами сообщений экспертов и фантомов, что соответствует либо оценке эксперта, либо фантома. На оценку фантома реальный эксперт повлиять не может, в том случае, если медианой, то есть, результатом голосования стала оценка агента (эксперта), то ему также не выгодно исказить информацию, он является диктатором, остальным агентам нет смысла исказить оценки, так как это не приведет к смещению медианы в их сторону. Подробно МАОММ описан в работах [4–8].

В МНОММ к оценкам реальных экспертов в зависимости от их значимости (веса) добавляются виртуальные агенты, образуя виртуальное общество равнозначных агентов. Для равнозначных агентов может уже применяться анонимная процедура голосования. МНОММ подробно описан в [3].

Для решения задачи согласования структуры графа примем, что в оценке участвуют два эксперта $n = 2$. Каждый эксперт может высказывать только одну из двух возможных оценок: $s \in [d, D]$, где $d = 0, D = 1$, так как структура дерева критериев бинарная. Пусть количество показателей x равно четырем. Рассмотрим логические операции, которые могут быть теоретически применимы к согласованию матриц свёртки (табл. 1). Пусть столбцы 1–2 отражают оценки по параметрам X_1 и X_2 , результаты применения в столбцах 3–8.

Таблица. Базовые функции (логические операции)

| Оценки | | Логические операции | | | | | |
|--------|-------|--------------------------|-----------------------|---------------------------------|--|------------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| X_1 | X_2 | Конъюнкция (\cap) | Дизъюнкция (\cup) | Импликация (\rightarrow) | Взаимная импликация (\leftrightarrow) | $\neg X_1$ | $\neg X_2$ |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Из базовых функций условию монотонности удовлетворяют только функции *min* и *max*.

Допустим, каждый эксперт сообщает свой граф (рис. 1, а – граф первого эксперта, б – граф второго эксперта), по ним мы можем построить матрицы инцидентности (рис. 2). Оценки фантомов рассчитываются по процедуре $\pi = \max(s_i)$ где s_i – множество оценок реальных экспертов. На рисунке 1 представлены два графа экспертов, на рисунке 2 показаны матрицы инцидентности, соответствующие вектору оценок экспертов.

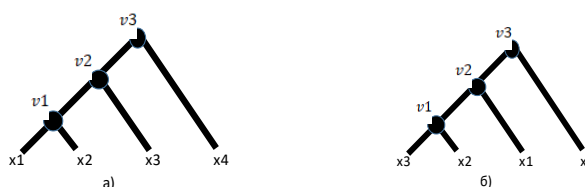


Рис. 1. Графы экспертов

| | x1 | x2 | x3 | x4 | v1 | v2 | v3 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| x1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| x2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| x3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| x4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| v1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| v2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| v3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |

| | x1 | x2 | x3 | x4 | v1 | v2 | v3 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| x1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| x2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| x3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| x4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| v1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| v2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| v3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |

Рис. 2. Матрицы инцидентности для графов: а и б, рис. 1

Чтобы определить структуру согласованного графа, нужно согласовать матрицы инцидентности экспертов и фантомов. На рисунке 3 изображен граф, полученный в результате согласования оценок экспертов и фантомов.

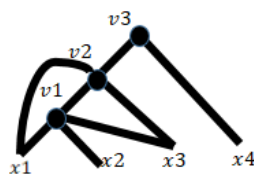


Рис. 3. Согласованный граф

Таким образом, согласовать граф, с помощью представленных выше механизмов, можно, но матрицы свертки будут иметь большую размерность, что на практике не применимо, так как в разы увеличивается количество вопросов. Обратите внимание на узел v_2 , он представляет собой кубическую матрицу. То есть, данный механизм согласования не

перспективный. При попытке согласовать граф получим сеть, что в дальнейшем приведет к появлению гиперкубов при согласовании матриц.

Использование других базовых функций невозможно, они не монотонны. Однако, чтобы выполнялось это условие, есть два решения (рис. 4).

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 |

Рис. 4. Комбинации оценок

Исходя из рисунка 4, только одна функция, составленная из базовых логических операций, удовлетворяет условию монотонности:

$$\pi = X_1 \cap X_2 \cup \bar{X}_2 \quad (3)$$

Функция (3) построена так, что нам важна только оценка одного эксперта, потому что в таком случае оценки не согласовываются, а выбираются (выявляются) из оценок экспертов, оценка которых соответствует самому графу. То есть, выбирается также медиана, но результатом уже будет не оценка, а граф. Фантом всегда будет добавляться только к одному эксперту. Медианой будет всегда либо оценка первого эксперта, либо оценка второго эксперта.

Любой эксперт может стать диктатором, при этом никто не знает, кто именно. Мы нашли две функции, которые позволяют построить 2-граф, эти функции всегда отдают приоритет одному агенту. В случае с двумя агентами, функции две, с тремя – три и т.д. Практическое применение данного механизма оправдано тем, что агенту не выгодно искажать информацию, так как его граф может быть выбран в качестве того, на основании которого в дальнейшем будут проводить оценку. Минус данного подхода в том, что, принимая один граф за аксиому, мы не учитываем систему ценностей других экспертов, что на практике может вызвать конфликт. Поэтому, как и в ранних работах по исследованию механизмов комплексного оценивания, применяя матричные механизмы комплексного оценивания к решению различных задач управления, будем полагать, что граф задан и требуется согласовать матрицы свертки, находящиеся в узлах этого дерева. Разработка механизмов согласования графа остается актуальной задачей в рамках рассматриваемого направления исследований.

Библиографический список

1. *Алексеев А.О.* Классификация механизмов комплексного оценивания сложных объектов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. № 2. С. 114-120.
2. *Алексеев А.О.* Исследование устойчивости механизмов комплексного оценивания к стратегическому поведению агентов (на примере согласования политики организации в области риск-менеджмента) // Прикладная математика и вопросы управления. 2019. № 4. С. 136–153.
3. *Алексеев А.О., Катаева Т.А.* Применение механизмов комплексного оценивания и матричных неанонимных обобщенных медианных механизмов согласования интересов агентов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2021. № 3. С. 75–89.
4. *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.

5. *Алексеев А.О., Коргин Н.А.* Матричный анонимный обобщенный медианный механизм с правом делегирования сообщений // Прикладная математика и вопросы управления. 2016. №4. С. 137–156.
6. *Алексеев А.О.* Классификация механизмов комплексного оценивания сложных объектов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. №2 (10). С. 106–120.
7. *Бурков В.Н., Исаков М.Б., Коргин Н.А.* Применение обобщенных медианных схем для построения неманипулируемых механизмов активной экспертизы // Проблемы управления. №4. 2008. С. 38–47.
8. *Губко М.В., Караваев А.П.* Согласование интересов в матричных структурах управления // Автомат. и телемех. 2001. №10. С. 132–146.
9. *Бурков В.Н., Буркова И.В., Щепкин А.В.* Метод синтеза системы комплексного оценивания // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2020. Т.20. №4. С. 63–71.

APPLICATION OF INTEGRATED EVALUATION MECHANISMS TO GRAPH ALIGNMENT

Kataeva Tatiana A.

Perm National Research Polytechnic University,
Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614000, tatyana.kataeva2014@yandex.ru

The relevance of using matrix mechanisms of complex estimation, in particular, matrix anonymous and non-anonymous generalized median mechanism of complex estimation, to solving the problem of coordinating the structure of a graph is shown. These mechanisms are distinguished by the possibility of rearranging experts when ranking expert assessments. A brief description of anonymous and non-anonymous matrix mechanisms is given, and the concept of non-manipulability as a property of these mechanisms is presented. Logical operations are given that can be applied to matching convolution matrices when solving the problem of matching the structure of a graph. The solution to the problem of matching the structure of the graph is presented. The relevance of practical application is shown. The expediency of further developments in the field of harmonizing the structure of the graph, which determines the sequence of the criteria convolution, has been substantiated.

Keywords: complex assessment mechanism, non-manipulability, non-anonymity, anonymity, mechanism for coordinating the interests, an active agent, virtual agent.

МЕРЫ ХАОСА В ПРОСТЫХ СИСТЕМАХ

Машкина Александра Константиновна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Чупин Антон Викторович

Институт механики сплошных сред УрО РАН,
614013, Россия, г. Пермь, ул. Ак. Королёва, 1, chupin@icmm.ru

Рассматриваются периодические и хаотические траектории простой динамической системы. Описывается численный подход для анализа траекторий и поиска граничных значений управляющего параметра a . В ходе численного эксперимента проверяется теорема Шарковского и закономерности Фейгенбаума. Было показано, что набор периодов вполне адекватно характеризуют сложность поведения системы в пределах до наступления хаотического поведения и может служить мерой хаоса.

Ключевые слова: устойчивость, неустойчивость, хаотическая траектория, притягивающий и отталкивающий циклы, хаос, вычислительная математика

В 1927 году было одно из первых наблюдений детерминированного хаоса. Голландский инженер Балтазар Ван-дер-Поль, который нашел устойчивые колебания – «предельные циклы», обнаружил, что на определенных частотах были зафиксированы шумы, всегда находящиеся рядом с собственными частотами волн. Однако в базовых уравнениях Ван-дер-Поля хаотические режимы невозможны.

В 1963 г. Лоренц опубликовал работу об интегрировании системы из трех обыкновенных дифференциальных уравнений, которая моделирует динамику жидкости при конвекции при подогреваемым снизу слоем – именно так устроена атмосфера. Лоренц акцентировал внимание на связи между наблюдаемой сложной динамикой и неустойчивостью траекторий. Позднее это свойство стали называть “эффектом бабочки”. Система Лоренца стала классическим инструментом для исследования хаотических траекторий и в её решении впервые был обнаружен пример сложных притягивающих множеств – т.н. «странный аттрактор».

В 1964 г. советский математик А. Н. Шарковский обнаружил [1] явление в одномерной динамике, связанное со взаимоотношениями длин орбит периодических точек, позднее названное в его честь порядком Шарковского. Оказалось, например, что наличие орбиты длины 3 неизбежно влечет существование орбит всех остальных длин, а наличие орбиты длины 4 гарантирует только существование орбит длины 2 и 1, появление орбиты длины 6 влечет наличие орбиты любой четной длины и т.д. Теорема Шарковского была первым общим результатом о динамических системах, получающихся при итерировании отображений отрезка в себя. Хотя эта «одномерная динамика» кажется чем-то весьма специальным, подобные отображения возникают в некоторых вопросах естествознания и техники, а также играют важную вспомогательную роль при чисто теоретических исследованиях более сложных динамических систем.

Тесно с этим порядком появления периодов связан один из сценариев появления хаоса в динамических системах – бифуркация удвоения периода по Фейгенбаума. Отслеживание поведения системы начинается с таких значений параметров, при которых имеется хотя бы одно T -периодическое решение. При увеличении характерного параметра это решение теряет устойчивость и происходит появление нового устойчивого решения, период которого превосходит период начального решения в 2 раза. Этот сценарий повторяется и при дальнейших изменениях параметра (которые являются точками бифуркации) появляются периодические решения с периодами последовательно $8T$, $16T$, $32T$ и т.д. вплоть до перехода в режим странного аттрактора. Универсальность является важнейшей особенностью перехода к хаосу путем бесконечной серии бифуркаций удвоения периода. Выяснилось, что интервал параметра, внутри которого существует устойчивый цикл периода 2^n , с ростом n убывает по закону геометрической прогрессии

$$\frac{p_n - p_{n-1}}{p_{n+1} - p_n} = \delta = 4,6692$$

где δ является универсальной постоянной Фейгенбаума.

Для исследования была задана рекуррентная формула $x_{n+1} = 4ax_n(1 - x_n)$, где параметр a варьируется в пределах $[0,4]$. Имеет смысл рассматривать параметр a на промежутке $(0,6; 1)$, поскольку при $a \in [0; 0,6]$ периодов не наблюдается, присутствует лишь неподвижная точка, а при $a \geq 1$ уже наблюдается хаос.

При увеличении параметра, согласно Шарковскому, наблюдается появление аттракторов (сначала в виде наборов из конечного числа значений) со всё новыми периодами.

Для проведения вычислений было решено воспользоваться системой Wolfram Mathematica. Были созданы списки, где хранились: последовательность вычисленных значений, последовательность вычисленных состояний динамической системы, что также будет называться траекторией. Была написана функция, которая по траектории определяет период аттрактора, к которому стремится система. Визуализировались траектории с помощью линейного графика, изображающего функцию $x(n)$. Аттрактор в виде неподвижной точки в этом случае выглядит как горизонтальный луч вправо, в случае появления периодических траекторий количество лучей возрастает.

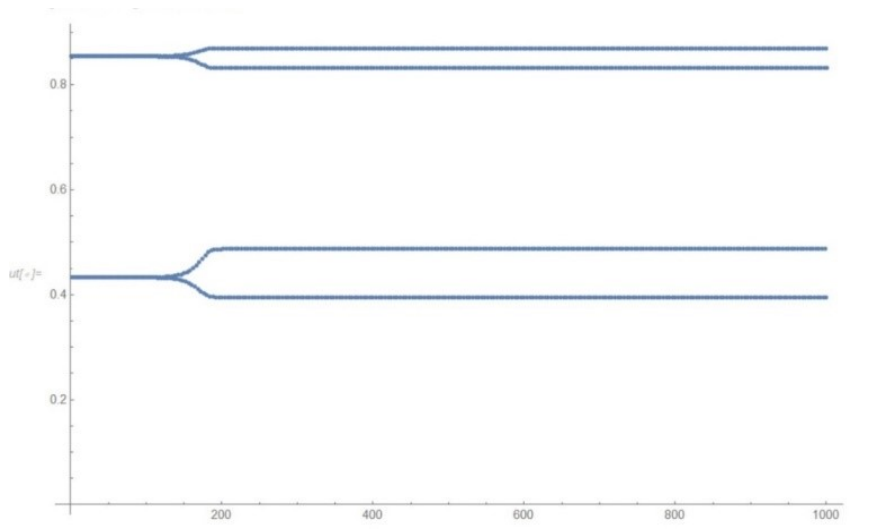


Рис. Траектория периода 4

Примером траектории служит Рис. На нём изображено появление траектории периода 4 из траектории с периодом 2. Здесь $a = 0,87$, а начальное значение $x_0 \approx 0,8543712963198087$.

Заметим, что требуется большая точность вычислений, т.к. при одном значении параметра a и при очень мало различающихся начальных состояниях можно приходиться к разным периодам.

Экспериментальным путём были получены минимальные значения a , при которых появляется следующий период (см. таблицу), их порядок подтверждает теорему Шарковского. А вычисленное по параметрам, дающим периоды с 1 по 16, значение

$$\frac{a_8 - a_4 - a_4 + a_2}{a_{16} - a_8 - a_8 + a_4} = \frac{a_8 + a_2}{a_{16} + a_4} \approx 4,720$$

оказывается приближением первой постоянной Фейгенбаума с точностью до 1%.

Таблица. Значения параметра a при первых появлениях периодов

| n | 2 | 4 | 8 | 16 | 7 | 5 | 3 |
|-----|------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| a | 0,74992254 | 0,86237244 | 0,8863387 | 0,8915603 | 0,9254102 | 0,93454103 | 0,95710571 |

Удалось получить для данных критических значений a картины аттракторов (в виде множеств с соответствующими периодам числами элементов) путём перебора начальных состояний системы по некоторой сетке, причём вплоть до появления периода 16 картина является полной (найлены все точки аттракторов), а, например, при первом появлении периода 3 сетка из 10000 точек дала >600 периодов. В силу ограниченности размера статьи не удаётся привести полную таблицу аттракторов, в качестве примера приведём траекторию периода 13 для значения параметра $a=0,95710571$:
 $T_{13} = \{0,23606; 0,32065; 0,95173; 0,39976; 0,59307; 0,60002; 0,640242;$
 $0,68068; 0,7307; 0,76109; 0,80053; 0,80836; 0,88012\}$,

В качестве вывода можно сказать, что набор периодов вполне описывает сложность поведения динамической системы при заданном значении управляющего параметра и может служить мерой хаоса в предхаотической системе.

Библиографический список

1. Шарковский А. Н. Существование циклов непрерывного преобразования прямой в себя // Украинский математический журнал. — 1964. — Т. 16, № 1. — С. 61—71.
2. Gleick, J., 1987. Chaos: Making a New Science. New York: Viking Adult, pp: 112 – 145.
3. Katok, A. and B. Hasselblatt, 1999. Introduction to the Modern Theory of Dynamical System. Cambridge University Press, pp: 170 – 188.
4. Ott E., Grebogi C., Yorke J. Controlling Chaos. Phys. Rev. Letters, 1990, vol. 64, no. 11, pp. 1196–1199.

CHAOS MEASURES OF SIMPLE SYSTEMS

Mashkina Alexandra K.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

Chupin Anton V.

Institute of Continuous Media Mechanics, Korolyova str. 1, Perm, Russia, 614013,
chupin@icmm.ru

Periodic and chaotic orbits of simple dynamical system are being considered. We describe a numerical approach to analyse trajectories and search for threshold values of governing parameter. Numerical simulation asserts Sharkovskii theorem and Feigenbaum universality. We show that periods' collection is an adequate numerical characteristic of dynamical system behaviour in pre-chaotic environment and can be used as a measure of chaoticity.

Keywords: stability, instability, chaotic orbit, attractor and distractor, chaos, numerical mathematics

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ В ГОРОДЕ ПЕРМИ

Митин Виктор Юрьевич

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

В статье описана методика прогнозирования аномалий температуры и осадков на предстоящий месяц или климатический сезон. Статистические модели прогнозирования базируются на принципе повторяемости истории, в качестве предикторов используются статистические параметры рядов температуры и осадков за три предыдущих месяца. Рассмотрены закономерности одного из этих параметров – индекса фрактальности. Параметры модели подобраны таким образом, чтобы достигалась высокая средняя точность прогнозирования за последние 40 лет. Представлен анализ проверки модели в течение года: для температуры было дано всего 9 верных прогнозов из 12, для осадков – 11 верных прогнозов из 12.

Ключевые слова: климатические ряды, прогнозирование, индекс фрактальности.

Статистические модели прогнозирования аномалий средней температуры и суммы осадков на предстоящий месяц (сезон) основаны на следующих допущениях.

1. Предполагается, что на характер погоды в прогнозируемом временном периоде (месяце или климатическом сезоне) опосредованно влияет характер изменения температуры и осадков в предшествующих периодах, при этом в качестве предикторов могут использоваться не только средние значения, но и другие характеристики: статистические (стандартное отклонение, коэффициент асимметрии), фрактальные (индекс фрактальности), параметры дискретного преобразования Фурье и др.
2. В основе статистических моделей лежит принцип повторяемости истории, т.е. наиболее вероятными являются те значения прогнозируемых переменных, которые ранее чаще всего наблюдались в соответствующие временные периоды в те годы, когда предикторы принимали такие же значения, как в текущем году.
3. Наибольшее влияние на прогнозируемые переменные оказывают погодные характеристики ближайших периодов (эффект затухающей памяти).
4. Совокупное влияние предикторов на прогнозируемую переменную может быть более значимым, чем в случае, если предикторы рассматривать по отдельности.
5. Для каждого месяца (климатического сезона) наборы предикторов, характер и степень их влияния на прогнозируемую переменную могут различаться.

Для построения моделей используется архив данных о погоде за 132 года в г. Пермь (<http://meteo.ru/data>), содержащий значения среднесуточной температуры и суточных сумм осадков за каждые сутки, начиная с 1888 года. По этим данным для каждого временного периода вычисляются статистические функции: среднее, среднеквадратичное отклонение, коэффициент асимметрии, а также индекс фрактальности, вычисляемый с помощью метода

минимального покрытия [1]. В качестве предикторов при прогнозировании аномалий температуры (осадков) на предстоящий месяц (климатический сезон) принимаются значения этих параметров для температуры и осадков за три предыдущих месяца (климатических сезона). На рис. 1 приведен график динамики изменения индекса фрактальности для годовых рядов температуры и осадков за последние 90 лет.

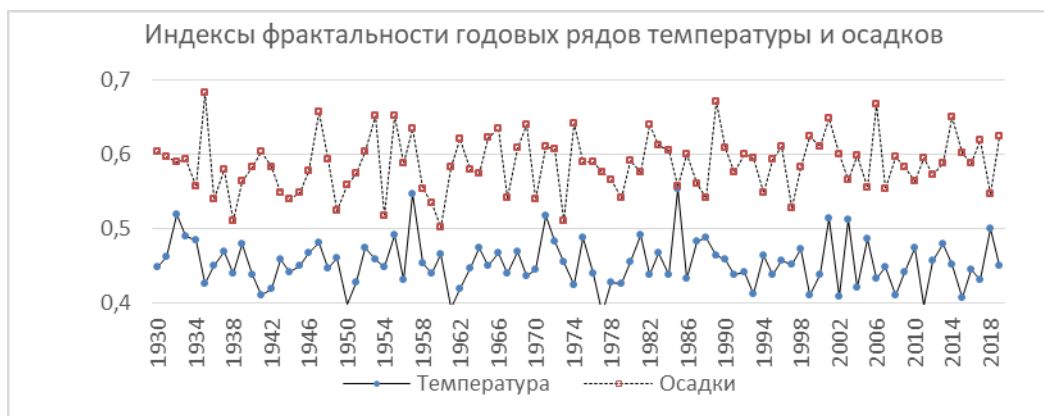


Рис. 1. Динамика изменения индекса фрактальности по годам

Индекс фрактальности принимает значения от 0 до 1 и характеризует степень хаотичности или трендовости временного ряда, а также степень изрезанности его графика.

В работе [2] были впервые рассчитаны индексы фрактальности для климатических рядов, относящихся к различным городам России и мира. В частности, для Перми установлено, что годовые ряды осадков имеют более высокие значения индекса фрактальности, чем температурные ряды; для месячных рядов индексы фрактальности в холодный период выше, чем в теплый период [3].

Все климатические переменные переводятся в дискретную шкалу значений с помощью ранговой функции R :

$$R(par, y) = \begin{cases} -1, par(y) < Q(par, 0.4) \\ 0, Q(par, 0.4) \leq par(y) \leq Q(par, 0.6) \\ 1, par(y) > Q(par, 0.6) \end{cases} \quad (1).$$

В формуле (1) через $Q(par, p)$ обозначена квантиль порядка p для ряда климатического параметра par . Прогнозы также даются в трехэлементной шкале: «выше нормы» – 40 % значений, «около нормы» – 20% значений, «ниже нормы» – 40% значений.

Из 24 полученных предикторов случайным образом выбираются 16, для которых строятся всевозможные пары (120 штук), для каждой пары предикторов определяются все годы, когда оба ранговых значения предикторов были такими же, как и в текущем году и вычисляются относительные частоты каждого из вариантов «ниже нормы», «около нормы», «выше нормы» для прогнозируемых переменных. Наиболее значимыми считаются те пары предикторов, для которых частоты максимально распространенного варианта рангового значения прогнозируемой переменной выше. Прогнозируемым ранговым значением климатической переменной считается вариант с наибольшей средней частотой по 11 лучшим парам.

Если реальное и прогнозируемое ранговое значение прогнозируемой переменной отличны от нуля, прогноз считается верным при их совпадении и неверным при их несовпадении. В противном случае прогноз не учитывается, поскольку нас интересуют прежде всего аномальные значения климатических параметров. Точность определяется как отношение числа верных прогнозов к сумме количества верных и неверных прогнозов.

Путем перебора различных подмножеств предикторов, для каждого месяца и климатического сезона получены наборы предикторов, дающие высокую точность при прогнозировании за последние 40 лет. На рис. 2 показаны графики средней точности $T=(T(10)+T(20)+T(40))/3$, где $T(k)$ – точность за последние k лет.

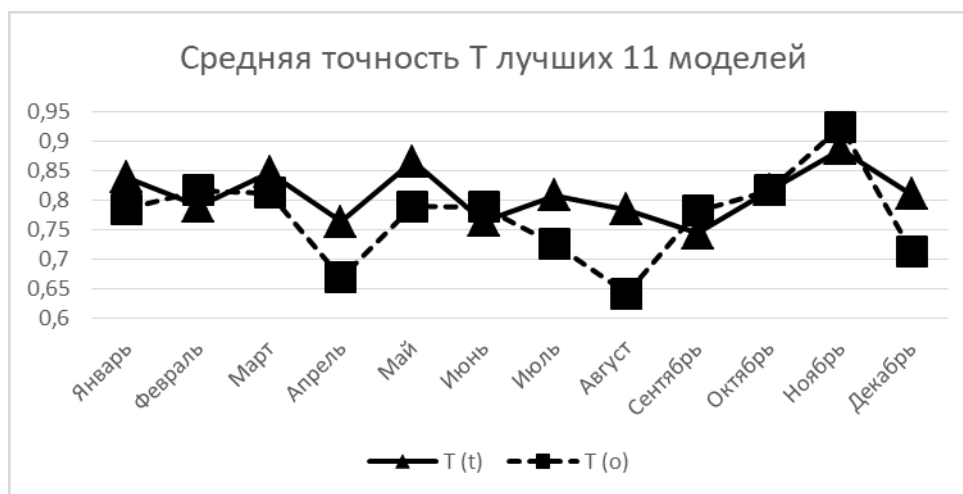


Рис. 2. Средние точности 11 лучших моделей при прогнозировании аномалий температуры (сплошная линия, треугольник) и осадков (пунктирная линия, квадрат).

Как видно из рис.2 средние точности T для большинства месяцев превышают 0,75. Самые лучшие прогнозы получены в ноябре, наихудшие для осадков – в августе, для температуры – в сентябре.

С октября 2020 года модель используется на практике: в первый день каждого месяца (климатического сезона) дается прогноз температуры (осадков) на предстоящий месяц (сезон).

Результаты оценки точности прогнозирования для каждого месяца представлены в таблице 1.

Таблица 1. Прогнозируемые (P) и реальные (R) ранговые значения температуры и осадков (месяцы)

| Температура | P | R | Итог | Осадки | P | R | Итог |
|-------------|----|----|---------|------------|----|----|---------|
| Окт. 2020 | +1 | +1 | Верно | Окт. 2020 | -1 | -1 | Верно |
| Ноя. 2020 | -1 | 0 | Норма | Ноя. 2020 | +1 | 0 | Норма |
| Дек 2020 | +1 | +1 | Верно | Дек 2020 | -1 | -1 | Верно |
| Янв. 2021 | +1 | +1 | Верно | Янв. 2021 | -1 | +1 | Неверно |
| Фев. 2021 | +1 | -1 | Неверно | Фев. 2021 | +1 | +1 | Верно |
| Март 2021 | +1 | 0 | Норма | Март 2021 | +1 | +1 | Верно |
| Апр. 2021 | +1 | +1 | Верно | Апр. 2021 | +1 | 0 | Норма |
| Май 2021 | +1 | +1 | Верно | Май 2021 | -1 | -1 | Верно |
| Июнь 2021 | -1 | +1 | Неверно | Июнь 2021 | +1 | +1 | Верно |
| Июль 2021 | +1 | -1 | Неверно | Июль 2021 | +1 | +1 | Верно |
| Авг. 2021 | +1 | +1 | Верно | Авг. 2021 | -1 | -1 | Верно |
| Сент. 2021 | -1 | -1 | Верно | Сент. 2021 | +1 | 0 | Норма |

Таким образом, за год было дано 7 верных месячных прогнозов аномалий температуры из 10 (70%) и 8 верных месячных прогнозов аномалий осадков из 9 (88,8%), при этом месяцы, когда реальные значения климатических параметров были около нормы, не учитывались.

Аналогичные данные для климатических сезонов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Прогнозируемые (P) и реальные (R) ранговые значения температуры и осадков (климатические сезоны)

| Температура | P | R | Итог | Осадки | P | R | Итог |
|--------------|----|----|-------|--------------|----|----|-------|
| Зима 2020-21 | +1 | 0 | Верно | Зима 2020-21 | +1 | +1 | Верно |
| Весна 2021 | +1 | +1 | Норма | Весна 2021 | +1 | -1 | Норма |
| Лето 2021 | +1 | +1 | Верно | Лето 2021 | +1 | +1 | Верно |

Таким образом, для температуры было дано 2 верных прогноза из 2, для осадков – 2 верных прогноза из 3. Прогноз на осень 2021 г.: температура и осадки выше нормы, его точность будет установлена в ноябре 2021 г.

Полученные результаты можно считать очень хорошими для долгосрочных прогнозов.

В будущем планируется разработка методики прогнозирования сильных аномалий, а также распространение данных моделей на другие населенные пункты с целью выяснения того, как работают данные модели в разных городах с различными климатическими условиями и другими географическими характеристиками.

Библиографический список

1. Дубовиков М.М., Крянев А.В., Старченко Н.В. Размерность минимального покрытия и локальный анализ фрактальных временных рядов // Вестник РУДН. 2004. Т. 3. № 1. С. 30 – 44.
2. Антуков В.Н., Митин В.Ю. Фрактальный анализ метеорологических рядов с помощью метода минимального покрытия // Географический вестник. 2019. №2 (49). С. 67 – 79.
3. Митин В.Ю. Фрактальные характеристики рядов базовых климатических параметров в г. Перми//Вестник Пермского университета. Серия «Математика. Механика. Информатика». 2020. №1(48). С. 47 – 52.

MATHEMATICAL MODEL FOR THE FORECAST OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION ANOMALIES IN PERM

Mitin Victor Y.

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

The article describes a method for predicting temperature and precipitation anomalies for the upcoming month or climatic season. Statistical forecasting models are based on the principle of repeatability of history, statistical parameters of temperature and precipitation series for the previous three months are used as predictors. The regularities of one of these parameters – the fractality index-are considered. The model parameters are selected in such a way that a high average accuracy of forecasting over the past 40 years is achieved. The analysis of the model verification during the year is presented: only 9 correct forecasts out of 12 were given for temperature, 11 correct forecasts out of 12 for precipitation.

Keywords: climatic series, forecasting, fractal index.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЫЖКА В ФИГУРНОМ КАТАНИИ

Ожгибесова Ирина Александровна, Шабрыкина Наталья Сергеевна

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, ozhgibesova.ira@gmail.com

В данной работе строится математическая модель прыжка в фигурном катании. Целью работы является исследование влияния движения рук и корпуса спортсмена на такие параметры прыжка, как угловая скорость и количество оборотов в воздухе. При моделировании рассматриваются несколько фаз исполнения прыжка: подготовка, отталкивание и полет. Для создания модели тело человека представлялось как набор простых объемных тел (шар, цилиндр, усеченные конусы и т.д.). Данные о движении корпуса и рук фигуриста, необходимые для построения модели, были получены экспериментально с использованием трехмерной технологии захвата движения. В ходе работы был создан программный продукт, позволяющий вычислять моменты инерции частей тела по координатам маркеров, задающим их положение в пространстве. Представленный подход к математическому моделированию, при соответствующем развитии, может быть использован для анализа и улучшения индивидуальной техники исполнения прыжков в фигурном катании.

Ключевые слова: биомеханика, фигурное катание, захват движения.

Фигурное катание является сложнокоординационным видом спорта, в котором большое значение имеют многооборотные прыжки. В процессе освоения прыжковых элементов спортсмены часто получают травмы, которые могут существенно сокращать продолжительность спортивной карьеры и повлиять на качество жизни. На правильную технику исполнения прыжка влияет множество факторов, из-за чего ошибки трудно заметить невооруженным глазом. Поэтому для анализа прыжковой техники спортсменов все чаще применяют системы захвата движения и математическое моделирование, которое позволяет не только количественно оценить параметры исполнения прыжка, но и корректировать технику с учетом индивидуальных особенностей спортсмена.

Данная работа посвящена созданию математической модели прыжка в фигурном катании, включающей фазы отталкивания и полета. При разработке математической модели используются методы теоретической механики и экспериментальные данные, полученные с помощью технологии захвата движения.

В фигурном катании существуют разные виды прыжков, но все они включают в себя одинаковые фазы [1]. В фазе разбега за счет исполнения комбинации шагов приобретает скорость, необходимая для последующих этапов. Приближаясь к фазе отталкивания, фигурист прекращает набирать скорость и придает телу нужное положение. В фазе отталкивания фигурист не только отрывается ото льда, но и приобретает начальную угловую скорость для вращения вокруг своей оси в воздухе. Для этого используются три механизма (в разных сочетаниях в зависимости от вида прыжка): движение по дуге, вращение верхней части тела и стопорящее движение коньком. В фазе полета угловая скорость вращения увеличивается за счет приближения рук и свободной ноги к телу (группировки), что позволяет совершить в воздухе требуемое количество оборотов. В фазе приземления

фигурист должен безопасно погасить вертикальную составляющую скорости и перейти к скольжению по дуге в выезде из прыжка.

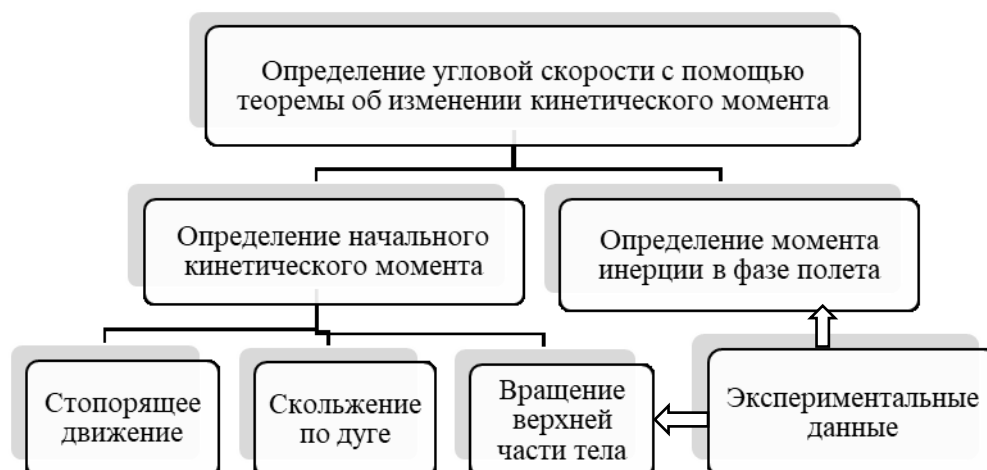


Рис. 1 Схема построения математической модели прыжка в фигурном катании

Основные этапы построения математической модели отражены на схеме (рис. 1). На данном этапе работы рассматривается набор начальной скорости только за счет вращения верхней части тела при отталкивании. Для описания движения тела фигуриста используется модель человека, состоящая из простых геометрических тел (шары, цилиндры, конусы и усеченные конусы), которая представлена на рис. 2.

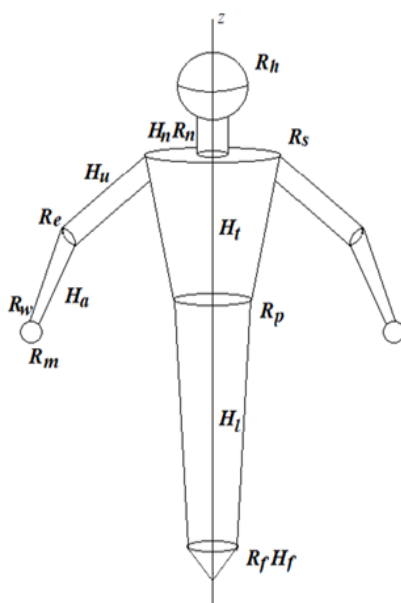


Рис. 2. Модель тела фигуриста и используемые обозначения для размеров частей тела

Угловая скорость вращения фигуриста в полете определяется с помощью теоремы об изменении кинетического момента:

$$\frac{dL_z}{dt} = \sum M_z(\bar{F}^e),$$

где L_z – кинетический момент тела относительно оси вращения, $M_z(\bar{F}^e)$ – моменты внешних сил.

Считается, что сопротивление воздуха при характерных для прыжков скоростях мало и ось вращения проходит через центр масс тела. В таком случае момент внешних сил относительно центральной оси равен нулю, а угловая скорость вращения имеет вид:

$$\omega(t) = \frac{L_{z0}}{J_z(t)},$$

где $\omega(t)$ – угловая скорость вращения тела в фазе полета, L_{z0} – начальный кинетический момент фигуриста, $J_z(t)$ – момент инерции фигуриста относительно вертикальной оси.

Кинетический момент, приобретаемый фигуристом в фазе отталкивания за счет скручивания корпуса определен по алгоритму, предложенному в работе [2], и имеет вид:

$$L_z(t) = (J_{zn}(t) + J_{zh}(t) + J_{zal}(t) + J_{zar}(t))\omega_s(t) + L_{zt},$$

$$L_{zt}(t) = \frac{m_t \omega_s(t) R_p^4 + 2R_p^3 R_s + 3R_p^2 R_s^2 + 4R_p R_s^3 + 5R_s^4}{20 R_p^2 + R_p R_s + R_s^2},$$

где $L_{zt}(t)$ – кинетический момент туловища; $J_{zn}(t)$, $J_{zh}(t)$, $J_{zal}(t)$, $J_{zar}(t)$ – моменты инерции шеи, головы, левой и правой руки соответственно; m_t – масса туловища; $\omega_s(t)$ – угловая скорость вращения плеч (определяется экспериментально). Обозначения для радиусов сегментов приведены на рис. 2.

Следующим этапом построения модели является вычисление момента инерции фигуриста относительно вертикальной оси, проходящей через центр масс в фазе полета. Для этого складываются моменты инерции всех частей тела. При этом практически все моменты инерции (кроме рук) считаются постоянными и определяются по известным из литературы формулам. Для определения изменяющихся моментов инерции рук необходимо знать их положение в каждый момент времени. Для этого была использована технология захвата движения.

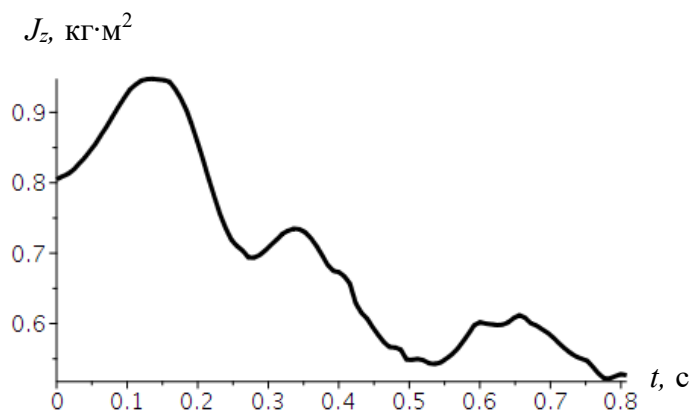


Рис. 3. Графики зависимости от времени момента инерции в фазах толчка и полета

Для упрощения проведения эксперимента эти исследования проводились на примере тренировочного прыжка тур. Данный прыжок используется фигуристами всех уровней подготовки для отработки движения рук и корпуса. С помощью трех камер, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях, производилась видеосъемка прыжка в исполнении фигуриста-любителя. На запястьях, локтевых и плечевых суставах были размещены светящиеся маркеры [3, 4], координаты которых в последствии определялись с помощью программы Kinovea. Затем вычислялись координаты каждого маркера в трехмерном пространстве.

Также были разработаны и реализованы процедуры для вычисления моментов инерции различных пространственных тел по координатам маркеров, определяющих их положение в пространстве. С помощью данных процедур вычислен момент инерции фигуриста в фазе полета в зависимости от времени (рис. 3). Следует отметить, что результаты, полученные с учетом положения рук и корпуса спортсмена в трехмерном пространстве, представляются здесь впервые и позволяют существенно увеличить точность моделирования по сравнению с представленными ранее результатами, для получения которых исследовалось движение рук в одной плоскости [4].

С помощью построенной математической модели было определено количество оборотов фигуриста в фазе полета, которое соответствовало наблюдаемому в эксперименте. Используя полученные данные, можно увидеть причины возникновения некоторых ошибок. Например, приведенный график показывает, что момент инерции начал снижаться до отрыва от земли (0,49 с) и в полете несколько увеличился, прежде чем начать снижаться. В то время как для максимальной эффективности необходимо начинать группировку сразу после отрыва от поверхности и раскрывать руки после приземления или непосредственно до него.

Анализ результатов моделирования показывает, что количество оборотов в прыжке зависит от времени полета, скорости вращения плеч в момент отрыва от поверхности, согласованности начала группировки с моментом отрыва и ее скорости. В дальнейшем планируется развивать данную модель за счет учета остальных способов приобретения начальной угловой скорости и детализации геометрической модели тела человека.

Библиографический список

1. *Мишин А.Н.* Биомеханика движений фигуриста. М.: Ленанд, 2021.
2. *Виноградова В.И.* Основы биомеханики прыжков в фигурном катании на коньках. М.: Советский спорт, 2013.
3. *Лядова Е.А., Шабрыкина Н.С., Анферов С.Д.* Математическое моделирование движения человека при выполнении прыжков в фигурном катании на примере прыжка тур // Математическое моделирование в естественных науках. 2017. С. 48-52
4. *Shabrykina N.* Mathematical modeling of figure skating jumps // 28th Russian Conference on Mathematical Modelling in Natural Sciences: (proceedings), Perm, Russia, 2-5 Oct. 2019 / Ed.: V.P. Matveenko, P.V. Trusov, A.Yu. Yants, V.A. Faerman, Amer. Inst. of Physics (AIP). Melville: AIP Publishing. 2020. P. 060006-1–060006-5.

MATHEMATICAL MODEL OF A FIGURE SKATING JUMP

Ozhgibesova Irina A., Shabrykina Natalia S.

Perm National Research Polytechnic University,
614990, Russia, Perm, Komsomolsky Av. 29, ozhgibesova.ira@gmail.com

Abstract. In this paper the mathematical model of body movement during a figure skating jump is developed. The goal of this project is to investigate how body and hands movements in the takeoff and flight phases of the jump influences jump parameters (angular velocity, number of revolutions in the air). The research studied several phases of the figure skating jump: the entrance with the takeoff and the flight. To describe skater's motion during execution of a jump a model of skate's body was created. A 3D motion capture technology was used to obtain experimental data on hands and body movement. The presented approach to mathematical modeling of figure skating jumps can be used to analyze and develop an individual jumping technique.

Keywords: biomechanics, figure skating, motion capture.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРКОЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ k -МЕРОВ НА ПЛОСКОСТИ

Бузмакова Мария Михайловна, Теплых Полина Дмитриевна

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

Рассматривается континуальная модель перколяционной системы равномерно распределенных, непересекающихся линейных k -меров (отрезков фиксированной длины) на плоскости с периодическими граничными условиями. В модели k -меры не могут пересекаться. Начало и ориентация k -мера – случайные числа, сгенерированные с помощью алгоритма «Вихрь Мерсенна». При моделировании используются периодические граничные условия по двум направлениям. Углы и координаты начала k -меров подчиняются равномерному закону распределения. Для построения модели разработаны эффективные алгоритмы равномерного распределения k -меров на плоскости, дискретизации континуальной системы k -меров на плоскости, распределения k -меров по кластерам и поиска перколяционного кластера. Проведен численный эксперимент по определению порогов перколяции для различных значений длины k -мера, расчет характеристик модели (средний размер кластера и мощность перколяционного кластера) и определение критических показателей для различных параметров модели.

Ключевые слова: математическое и компьютерное моделирование, линейные k -меры, теория перколяции, порог перколяции, мощность перколяционного кластера, средний размер кластера.

ВВЕДЕНИЕ

Теория перколяции – очень простой, но общий, мощный и полезный инструмент для описания широкого класса явлений, которые принято называть критическими [1-6]. Теория помогает моделировать задачи из разных областей наук: биологических (обогащение полезных ископаемых (перколяторы, где переход: частичное/полное смачивание), медицинских (распространение болезней среди населения, где переходом будет передача инфекции контактным путем/эпидемии), физических и др. Теория перколяции 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. Актуальным является исследование различных моделей перколяции, для получения новых, ранее не известных фундаментальных сведений. В рамках настоящей работы проведено моделирование континуальной перколяционной системы линейных k -меров на плоскости.

ОПИСАНИЕ ЗАДАЧИ

В работе предложена континуальная модель перколяционной системы равномерно распределенных линейных k -меров на плоскости с периодическими граничными условиями. Линейные k -меры – отрезки фиксированной длины. 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.

Исследование проведено методами Монте-Карло с применением классических приёмов теории перколяции, теории вероятностей и математической статистики. Было проведено компьютерное моделирование по определению значения порога перколяции при различных значениях k . Порог перколяции p_c – концентрация объектов в системе, при которой возникает перколяционный кластер с вероятностью 0.5. Для каждого значения длины были определены пороги перколяции для систем конечных размерностей. Далее были определены пороги перколяции для случая бесконечных систем. Кроме определения порога перколяции в работе были определены средний размер кластера и мощность перколяционного кластера, а также их критические показатели по формулам [2]:

$$S = \sum_s s \omega_s = \frac{\sum_s s^2 n_s(p)}{\sum_s s n_s(p)},$$

где $\omega_s = \frac{sn_s(p)}{\sum_s sn_s(p)}$ – вероятность того, что случайно выбранный занятый узел принадлежит кластеру размера s ;

$$P_\infty(p) = \frac{N_\infty}{N},$$

где N – число всех узлов системы, N_∞ – число узлов, принадлежащих перколяционному кластеру.

Средний размер кластера S вблизи порога перколяции ведет себя как показательная функция:

$$S(p) \propto |p - p_c|^{-\gamma},$$

где γ – универсальный критический показатель, не зависящий от вида решетки и типа перколяции, а зависящий только от размерности пространства задачи. Символ \propto означает пропорциональность в пределе при $p \rightarrow p_c$. Мощность перколяционного кластера P_∞ вблизи порога перколяции ведет себя как показательная функция с критическим показателем β :

$$P_\infty(p) \propto |p - p_c|^\beta,$$

где β – универсальный показатель, не зависящий от вида решетки и типа перколяции, а зависящий только от размерности пространства задачи.

ЗАВИСИМОСТЬ ПОРОГОВ ПЕРКОЛЯЦИИ ОТ ДЛИНЫ К-МЕРОВ

Было проведено компьютерное моделирование по определению значения порога перколяции при различных значениях $k = 10, 30, 50, 70, 100$. Для каждого значения длины были определены пороги перколяции для систем конечных размерностей (по 3-4 размерности для каждого значения k). Далее по полученным значениям порога перколяции для систем конечных размерностей были определены пороги перколяции для случая бесконечных систем по стандартной в теории перколяции методике (рис. 1).

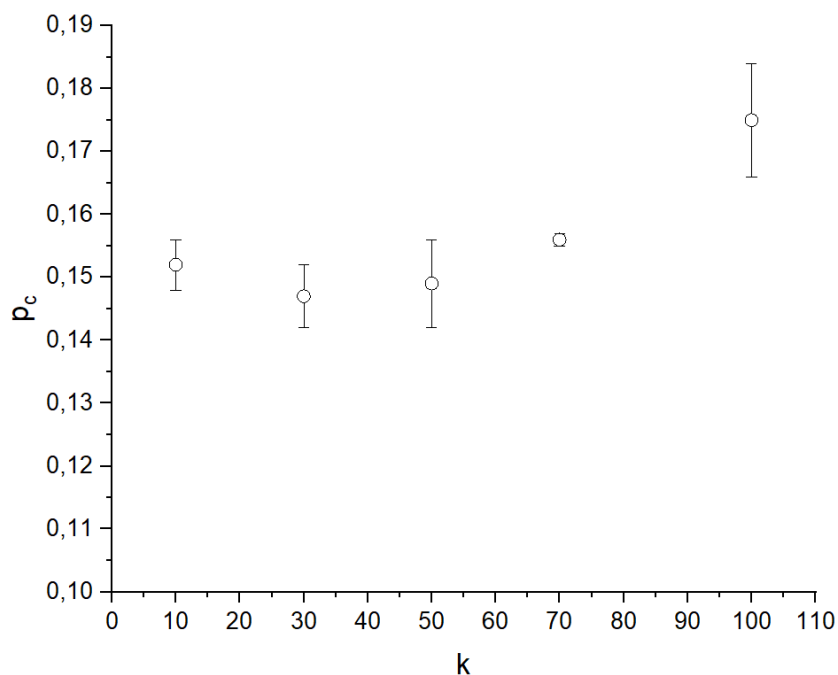


Рис. 1. Значения порога перколяции для различных k

Из полученных значений можно утверждать, 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. В перспективе определение значение длины k -мера, при которой порог перколяции перестает уменьшаться и начинает возрастать.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРКОЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Для оценки адекватности предложенной модели для каждого набора входных параметров найдены значения характеристик среднего размера кластера и мощности перколяционного кластера. Были определены критические показатели для среднего размера кластера и мощности перколяционного кластера. Например, для $L = 1000$, $k = 50$ поведение среднего размера кластера и мощности перколяционного кластера представлены на рисунках 2-3.

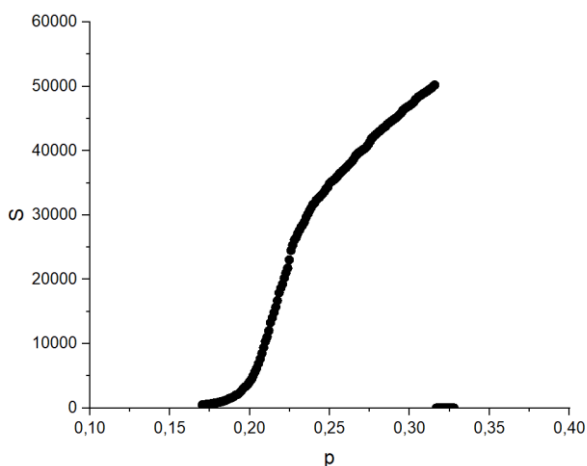


Рис. 2. Характерное поведение среднего размера кластера ($L = 1000$, $k = 50$)

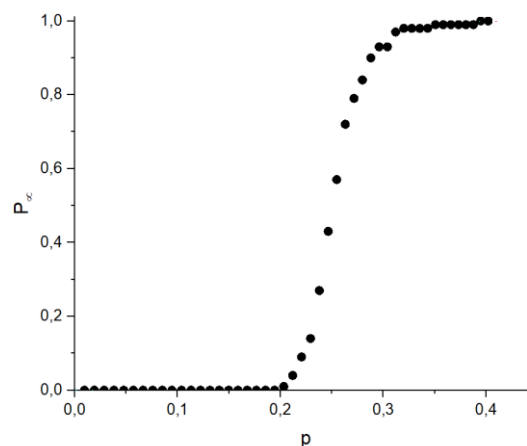


Рис. 3. Характерное поведение мощности перколяционного кластера ($L = 1000$, $k = 50$)

Для данных характеристик были определены по стандартной в теории перколяции методике критические показатели. Значения показателей для мощности перколяционного кластера после порога перколяции и среднего размера кластера до порога перколяции близки к известным значениям ($\gamma = 2.16 \pm 0.02(p < p_c)$, $\gamma = 0.55 \pm 0.03(p > p_c)$, $\beta = 0.19 \pm 0.02(p > p_c)$). Это подтверждает адекватность предложенной модели.

ВЫВОДЫ

Был проведён численный эксперимент по определению порогов перколяции для различных значений длины k -мера, расчет характеристик модели (средний размер кластера и мощность перколяционного кластера) и определение критических показателей для различных параметров модели.

Библиографический список

1. *Hammersley J.M.* Proc. Cambridge Phil. Soc. 1957. P. 53, 642.
2. *Stauffer D.* Introduction to Percolation Theory // Taylor & Francis. 1985.
3. *Zallen R.* The Physics of Amorphous Solids // John Willey & Sons, NY. 1983.
4. *Essam J.W.* Reports on Progress in Physics. 1980. Vol. 43, 833.
5. *Binder K.* Reports on Progress in Physics. 1997. Vol. 60, 488.
6. *Lorenz C., May R., Ziff R., Stat J. Phys.* 2000. V. 98, 961.

SIMULATION OF THE PERCOLATION SYSTEM OF K -MERS ON A PLANE

Buzmakova Mariya M., Teplykh Polina D.

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

Abstract. The continuum model of the percolation system, containing uniformly distributed linear k -mers (are segments of fixed length), is considered. In the model, k -mers cannot intersect. The origin and orientation of k -mer are random numbers generated. The modeling uses periodic boundary conditions in two directions. For the model efficient algorithms have been developed for the uniform distribution of k -mers on the plane, the discretization of continuum, the distribution of k -mers over clusters and the search of the percolation cluster. The numerical experiment was carried out to determine the percolation threshold values for different k -mers length values. The average size of the cluster, the percolation cluster strength and critical indicators was obtained.

Keywords: mathematical and computer modeling, linear k -mers, percolation theory, percolation threshold, percolation cluster strength, average cluster size.

АДДИТИВНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАНЖИРОВАНИЯ РЕЗЮМЕ КАНДИДАТОВ ПО СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ ТРЕБОВАНИЯМ ВАКАНСИИ

Трегубова Ирина Дмитриевна, Шарапов Юрий Альбертович

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, tregubova.irina@hotmail.com

В работе рассматривается аддитивная математическая модель ранжирования резюме для автоматизации анализа и упорядочивания резюме по степени соответствия требованиям вакансии при подборе персонала. Аддитивная математическая модель базируется на структуре вакансий и резюме с сайта hh.ru. В модели учитываются совпадения вакансии и резюме по таким составляющим, как образование (E), опыт работы (S) и профильный стаж работы (L). Введены поправочные коэффициенты, позволяющие учитывать степень влияния компонентов E , L и S на оценку резюме. В работе приводится решение оптимизационной задачи определения значений поправочных коэффициентов на основе метода множителей Лагранжа, приведено вычисление значений поправочных коэффициентов для «обучающей» вакансии (этап обучения модели). Представлена верификация аддитивной математической модели на тестовой вакансии. Средняя относительная погрешность автоматизированного ранжирования резюме от экспертного ранжирования составила 30%.

Ключевые слова: электронный рекрутинг, HH.RU, метод множителей Лагранжа, HR, подбор персонала, математическая модель, ранжирование данных, резюме, вакансия.

Введение

Высокая текучесть кадров стала серьезной проблемой для многих компаний. Она оказывает серьезное влияние на бизнес, приводит к дополнительным расходам. Первопричиной такой проблемы являются ошибки при отборе сотрудников. А лучшим способом снизить текучесть кадров – наем правильных людей с самого начала [1]. В настоящее время на российском рынке для подбора персонала почти каждая третья компания использует инструменты автоматизации [2]. Прежде всего, требуется автоматизация рутинных повторяющихся операций. Автоматический предварительный отбор персонала привел к более высоким результатам по сравнению с ручным подбором за исключением руководящих должностей [3].

В 2000-е *F. Faerber* [4] и *T. Keim* [5] предложили гибридный подход для подбора персонала на основе на фильтрации контента и коллаборативной фильтрации. В 2006 году *J. Malinowski* описал подход двустороннего взаимного оценивания, как работодателей кандидатами, так и кандидатов работодателями [6]. В начале 2010-х *Ф. Алексеровым* была предложена социальная функция принятия решения для построения агрегированной оценки резюме несколькими экспертами [7]. Практическая реализация такого подхода была предложена *Е. Калугиной* и выражалась в применении ранжирования резюме на основе агрегационных правил [1]. В 2013 году был представлен интеллектуальный инструмент EXPERT [8] для отбора кандидатов на работу с использованием онтологического подхода. Ранжирование кандидатов происходит по степени соответствия онтологии, построенной по вакансии, онтологии, построенной по резюме.

Приведенные выше работы либо используют фильтрацию резюме, автоматически отсекая «ненужные», и таким образом решают за рекрутера, какие кандидаты подходят, а какие нет [4,5], либо не учитывают приоритеты критериев оценки резюме с точки зрения как самого работодателя, так и с точки зрения конкретной вакансии [6], либо не приводят математические оценки эффективности применения своего подхода [1], либо подают на вход модели структурированные данные [8].

Целью данной работы является автоматизация анализа и отбора резюме HR-специалистами компании ООО «Нестле Россия» филиале в г.Перми из откликов¹² на вакансии с сайта hh.ru. Необходимо автоматизировать анализ полуструктурированного текста резюме на русском языке, без отсека кандидатов без решения рекрутера, с понятными результатами отбора, с учетом приоритетов критериев оценки резюме. Существующие решения не удовлетворяют указанным требованиям. Поэтому в данной работе введена аддитивная математическая модель ранжирования резюме по степени соответствия вакансии и приведена оценка результатов применения такой модели по сравнению с экспертными решениями.

Постановка задачи

Необходимо упорядочить резюме соискателей, откликнувшихся на вакансию, по степени соответствия требованиям вакансии. Для анализа резюме и вакансий использовался сайт hh.ru, как источник полуструктурированных данных. Данные *вакансии* представляют собой текст с такими разделами, как «Обязанности», «Требования», «Условия». Данные *резюме* не имеют ограничений и заполняются по шаблону.

Описание математической модели

Допущение математической модели: ограничим список анализируемых характеристик вакансии и резюме до следующих: образование, стаж и опыт работы.

Оценка соответствия резюме вакансии описывается следующей формулой:

$$v_i = \alpha_1 \cdot E_i + \alpha_2 \cdot L_i + \alpha_3 \cdot S_i, i = \overline{1, N},$$

где i – порядковый номер отклика на вакансию; N – количество откликов на вакансию; v_i – оценка i -ого отклика; $\alpha_j, j = \overline{1, 3}$ – поправочные коэффициенты для компонентов оценки резюме, j – номер компоненты; E_i, L_i, S_i – оценки компонентов «образования», «профильного стажа работы» и «опыта работы» i -ого отклика соответственно.

Оценки компонентов E, L, S введены в рамках данной работы, как агрегационные числовые характеристики соответствующих текстов, собранных из разных частей резюме и вакансии. Для расчета оценок используется обработка соответствующих текстов резюме и вакансии методами компьютерной лингвистики. Поправочные коэффициенты $\alpha_j, j = \overline{1, 3}$ позволят учитывать степень влияния компонентов E, L и S на оценку резюме.

Нахождение поправочных коэффициентов

Допущение математической модели: значения поправочных коэффициентов $\alpha_j, j = \overline{1, 3}$ для компонентов E, L, S могут быть использованы для всех вакансий, т.е., если найти коэффициенты $\alpha_j, j = \overline{1, 3}$ для одной вакансии, для которой известны экспертные оценки, то эти коэффициенты можно применить для расчета оценок резюме других вакансий.

¹² Отклик на вакансию – резюме кандидата, которое он по своему желанию предоставил на конкретную вакансию работодателя, используя средства сайта hh.ru.

Для определения поправочных коэффициентов $\alpha_j, j = \overline{1,3}$ построим следующую целевую функцию:

$$T = \sum_{i=1}^N (\hat{V}_i - v_i)^2 \rightarrow \min, \alpha_j \geq 0, j = \overline{1,3},$$

где \hat{V}_i – это экспертная оценка резюме i -ого кандидата, v_i – это расчетная оценка резюме i -ого кандидата, которая представляется в виде $v_i = \alpha_1 E_i + \alpha_2 L_i + \alpha_3 S_i$.

Целевая функция T , по построению является выпуклой, имеет ограничения типа нестрогих неравенств, накладываемые на поправочные коэффициенты. Таким образом, эти условия удовлетворяют требованиям применения метода множителей Лагранжа.

Функция Лагранжа запишем следующим образом:

$$L(\alpha, \lambda) = \lambda_0 \sum_{i=1}^N (\hat{V}_i - \alpha_1 E_i - \alpha_2 L_i - \alpha_3 S_i)^2 + \lambda_1 (-\alpha_1) + \lambda_2 (-\alpha_2) + \lambda_3 (-\alpha_3)$$

Далее выпишем необходимые условия экстремума.

1. Условия стационарности:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial \alpha_1} = \lambda_0 \left[-2 \sum_{i=1}^N E_i (\hat{V}_i - \alpha_1 E_i - \alpha_2 L_i - \alpha_3 S_i) \right] - \lambda_1 = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \alpha_2} = \lambda_0 \left[-2 \sum_{i=1}^N L_i (\hat{V}_i - \alpha_1 E_i - \alpha_2 L_i - \alpha_3 S_i) \right] - \lambda_2 = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \alpha_3} = \lambda_0 \left[-2 \sum_{i=1}^N S_i (\hat{V}_i - \alpha_1 E_i - \alpha_2 L_i - \alpha_3 S_i) \right] - \lambda_3 = 0 \end{cases}$$

2. Соотношения неотрицательности: $\lambda_0 \geq 0, \lambda_1 \geq 0, \lambda_2 \geq 0, \lambda_3 \geq 0$.

3. Соотношения дополняющей нежесткости: $\lambda_1 (-\alpha_1) = 0, \lambda_2 (-\alpha_2) = 0, \lambda_3 (-\alpha_3) = 0$.

Получаем единственное совместное решение, удовлетворяющее смыслу задачи, при $\lambda_0 = 1, \lambda_1 = 0, \lambda_2 = 0, \lambda_3 = 0$ в виде системы линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} \overline{E\hat{V}} = \alpha_1 \overline{E^2} + \alpha_2 \overline{EL} + \alpha_3 \overline{ES} \\ \overline{L\hat{V}} = \alpha_1 \overline{EL} + \alpha_2 \overline{L^2} + \alpha_3 \overline{LS} \\ \overline{S\hat{V}} = \alpha_1 \overline{ES} + \alpha_2 \overline{LS} + \alpha_3 \overline{S^2} \end{cases} \quad (1)$$

По методу множителей Лагранжа в критической точке, полученной из этого решения, достигается локальный минимум функции T . Функция T выпуклая, этот локальный минимум является также и глобальным. Решение задачи определения коэффициентов найдено.

Этап обучения математической модели

Определение поправочных коэффициентов было выполнено на данных вакансии «Специалист отдела кадров», данных 14-ти резюме и экспертных оценках для каждого резюме. Были посчитаны оценки компонентов E, L, S . На основе экспертных оценок были получены ранги \hat{V}_i экспертных оценок. Подставив эти значения в систему (1), получим $\alpha_1 = 0,903; \alpha_2 = 0,400; \alpha_3 = 0,439$. На основе полученных расчетных данных было выполнено ранжирование резюме кандидатов. Средняя относительная погрешность рангов расчётных оценок от рангов экспертных оценок для вакансии «Специалист отдела кадров» составила 27 %.

Этап верификации математической модели

Для верификации аддитивной математической модели ранжирования резюме использованы вакансии «Специалист по контролю качества» компании Нестле, 13-ть резюме соискателей и соответствующие экспертные оценки резюме. Для расчетов оценок резюме использовались значения коэффициентов $\alpha_j, j = \overline{1,3}$, полученных на этапе обучения модели. Средняя относительная погрешность рангов расчётных оценок от рангов экспертных оценок для вакансии «Специалист по контролю качества» составила **30 %**.

Результаты

1. Разработана аддитивная математические модели ранжирования резюме по степени соответствия требованиям вакансии.
2. Решена оптимизационная задача для определения поправочных коэффициентов.
3. Выполнено обучение и верификация аддитивной математической модели ранжирования резюме на вакансиях «Специалист отдела кадров» и «Специалист по контролю качества» соответственно.
4. Средняя относительная погрешность аддитивной математической модели в рамках верификации составила 30%.

Библиографический список

1. *Kalugina E., Shvydun S.* An Effective Personnel Selection Model // *Procedia Computer Science*. 2014. Vol. 31. P. 1102–1106.
2. Как автоматизирован рекрутмент в российских компаниях. URL: <https://perm.hh.ru/article/26288> (дата обращения: 15.05.2021).
3. *Faliagka E., Tsakalidis A., Tzimas G.* An integrated e-recruitment system for automated personality mining and applicant ranking // *Internet Research*. 2012. Vol. 22, № 5. P. 551–568.
4. *Faerber F., Weitzel T., Keim T.* An Automated Recommendation Approach to Selection in Personnel Recruitment // 2003 9-th Americas Conference on Information Systems. 2003.
5. *Keim T.* Extending the Applicability of Recommender Systems: A Multilayer Framework for Matching Human Resources // 2007 40th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'07). 2007.
6. *Malinowski J.* et al. Matching People and Jobs: A Bilateral Recommendation Approach // *Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'06)*. 2006.
7. *Aleskerov F., Subochev A.* Modeling optimal social choice: matrix-vector representation of various solution concepts based on majority rule // *Journal of Global Optimization*. 2012. Vol. 56, № 2. P. 737–756.
8. *Kumaran V.S., Sankar A.* Towards an automated system for intelligent screening of candidates for recruitment using ontology mapping (EXPERT) // *International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies*. 2013. Vol. 8, № 1. P. 56.

**THE ADDITIVE MATHEMATICAL MODEL FOR RANKING RESUMES
ACCORDING TO THE DEGREE OF COMPLIANCE WITH THE REQUIREMENTS
OF THE VACANCY**

Tregubova Irina D., Sharapov Yuriy A.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, tregubova.irina@hotmail.com

Abstract. This paper describes the additive mathematical model of resume ranking to automate the analysis and ordering of resumes by the degree of compliance with the requirements of vacancy. The model is based on the structure of the vacancy and resume from hh.ru website. It uses the matching of a vacancy and a resume by such components as education (E), work experience (S) and length of employment (L). Correction factors are introduced in model to manage of the degree of influence of components E , L , S to resume evaluation. The paper shows the solution of the optimization task of determining the correction factors based on the Lagrange multipliers method and calculate the values of correction factors for the "training" vacancy (the stage of training). The verification of the additive mathematical model on the test vacancy is presented. The average ratio error of the automated CV ranking from the expert ranking is 30%.

Keywords: e-recruiting, HH.RU, Lagrange multiplier method, HR, recruiting, mathematical model, data ranking, resume, vacancy.

ПРИМЕР ИДЕНТИФИКАЦИИ ФИНАНСОВЫХ ПАТТЕРНОВ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БАНКРОТСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

*Чугайнова Анастасия Михайловна, Алексеев Александр Олегович,
Алексеева Ирина Евгеньевна*

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

Рассматривается задача поиска финансовых паттернов при анализе закодированных сведений о бухгалтерской отчетности строительных организаций и юридическом статусе их финансовой платежеспособности, структурированных в виде иерархических матричных механизмов комплексного оценивания. Задача анализа механизмов комплексного оценивания заключается в нахождении правил, которые будут описывать платежеспособность организации при определенных значениях статей баланса. Показан алгоритм идентификации финансовых паттернов на примере выявления правила, при котором строительная организация много вероятно обанкротится и правило, при котором организация много вероятно продолжит свою деятельность.

Ключевые слова: диагностика организаций, прогнозирование банкротства, механизмы комплексного оценивания, анализ данных, финансовые паттерны

В теории управления организационными и социально-экономическими системами широкую известность получили иерархические матричные механизмы комплексного оценивания (далее – МКО). Несмотря на обширную историю внедрения таких МКО в практику организаций и органов государственной власти различных уровней, начиная с 1980-х годов, первое публичное обсуждение задачи синтеза МКО на основе наборов обучающих данных [1] состоялось на XIII Всероссийском совещании по проблемам управления в 2019 году. Уже в 2020 году двумя группами ученых получены решения, позволяющие идентифицировать МКО по обучающим наборам [2–5]. Однако эти методы идентификации можно использовать только для анализа дискретных данных, описывающих реальные предметные области. Так, в сентябре 2021 г. на XVII Всероссийской школе-конференции молодых ученых «Управление большими системами» был сделан доклад [6], демонстрирующий возможности использования методов идентификации МКО для анализа прикладных задач, описываемых с помощью дискретных данных. Данный подход демонстрировался на нескольких примерах, включая задачу идентификации жизнеспособности компаний (прогнозирование банкротства).

Целью настоящей работы является демонстрация возможности выявления финансовых паттернов при анализе структурированных в виде МКО закодированных сведений о бухгалтерской отчетности строительных организаций и юридическом статусе их финансовой платежеспособности. Задача анализа МКО заключается в нахождении правил, которые будут описывать платежеспособность организации при определенных значениях статей баланса.

Теоретическую основу настоящего исследования составляют результаты работы, предоставленные [7], в которой исследовалась достоверность прогнозирования финансового состояния организаций в случае введения дополнительной категории финансового состояния, так называемая «серая зона». В [7] был проведен анализ структуры двухсот бухгалтерских

балансов строительных организаций и определены диапазоны статей баланса, характерные для трех категорий финансового состояния (табл.).

Таблица. Критерии отнесения наиболее значимых статей баланса к определенной категории финансового состояния

| Статья баланса | Кодирование статьи баланса | Признак банкрота, кодируется как 1 | Признак организации с финансовыми сложностями, кодируется как 2 | Признак состоятельной организации, кодируется как 3 |
|--|----------------------------|------------------------------------|---|---|
| Основные средства | О | до 13% | От 13% до 39% | от 39% |
| Запасы | З | от 55% | От 40% до 55% | До 40% |
| Дебиторская задолженность | Д | до 40% или свыше 89% | От 30% до 50% | Остальные значения |
| Нераспределенная прибыль (непокрытый убыток) | Н | До -22% | От -22% до 26% | От 26% |
| Кредиторская задолженность | К | От 99% | От 74% до 99% | до 74% |

В настоящем исследовании в качестве комплексных оценок использовались только две категории: или «банкрот» (код «б»), или «действующая организация» (код «д»), опираясь на юридический статус организации. Это отличает настоящее исследование от [5, 6], где в числе комплексных оценок было пограничное финансовое состояние «серая зона». В результате кодирования исходных данных 200 записей были сведены к 48 уникальным неповторяющимся наборам признаков и комплексных оценок, 23 из которых относились к действующим организациям, 25 – финансово несостоятельным (банкротам). На основе этих данных можно идентифицировать МКО с помощью методов [2, 3] или [4,5].

Рассмотрим пример МКО, идентифицированного с помощью метода [4] в структуре ОНЗКД, с последовательной структурой дерева критериев, где каждому листу дерева соответствует определенная статья баланса (рис. 1).

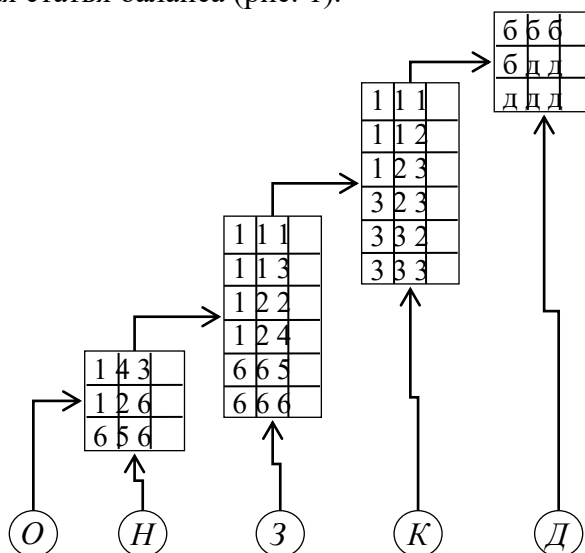


Рис. 1. Закодированные данные, структурированные в виде МКО при структуре ОНЗКД

Примечание: элементами верхней матрицы свертки являются комплексные оценки «б» – банкрот, «д» – действующая организация; элементами промежуточных матриц свертки при последовательной структуре дерева критериев являются номера строк в матрицах следующего уровня.

В приведенном примере (см. рис. 1) первая матрица описывает свертку признаков «Основные средства» (О) и «Нераспределенная прибыль (непокрытый убыток)» (Н). С

помощью первой матрицы и прибавлении признака «Запасы» (З) формируется вторая матрица. Третья матрица соответствует свертке агрегированных признаков на предыдущем уровне и признаку «Кредиторская задолженность» (К). Последняя (четвертая) матрица учитывает оставшийся признак – «Дебиторская задолженность» (Д).

Покажем процесс выявления паттернов относительно финансового состояния строительных организаций на примере приведенного выше МКО (см. рис. 1).

Сформулируем первый паттерн о вероятности наступления банкротства (рис. 2).

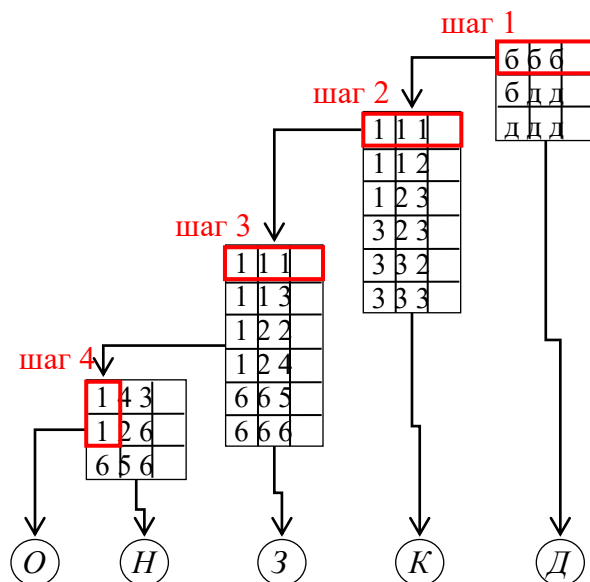


Рис. 2. Алгоритм поиска финансовых паттернов банкротства в данных, структурированных в виде МКО со структурой ОНЗКД

В матрице 4-го уровня следует выделить 1-ю строку (шаг 1, см. рис. 2), где все элементы имеют код «б», т.е. организации обанкротились вне зависимости от признака Д (дебиторская задолженность). Другими словами, при условии, что в матрице 3-го уровня стоит оценка 1, определяющая 1-ю строку в матрице 4-го уровня, то при любой дебиторской задолженности организация является финансово несостоятельной. В матрице 3-го уровня, в свою очередь, также можно выделить правило, при котором результат будет давать оценку 1, но уже вне зависимости от признака К (кредиторская задолженность) – 1-я строка (шаг 2, см. рис. 2). Тогда в матрице свертки «ОНЗ» надо выделить элементы, принимающие значение 1, в данном примере следует выделить также 1-ю строку (шаг 3, см. рис. 2), согласно которой признак З (запасы) может быть любым. В матрице нижнего уровня значение 1 встречается в 1-ой и во 2-ой строках 1-го столбца (шаг 4, см. рис. 2), где 1-ый столбец означает, что признак Н (нераспределенная прибыль (непокрытый убыток)) равен 1, т.е. доля непокрытого убытка превышает 22% баланса организации, а 1-я и во 2-я строки соответствуют тому, что признак О (основные средства) не равен 3, что согласно критериям (см. табл.) обеспечивается тогда, когда доля основных средств занимает в структуре баланса до 39%.

Аналогичные рассуждения могут быть построены относительно действующих организаций (рис. 3). Например, в верхней матрице видно, что если результат предыдущего агрегирования равен 3, то при любых значениях критерия Д (дебиторская задолженность) организация оценивается как «д», т.е. действующая организация (шаг 1, см. рис. 3). В матрице «ОНЗК» оценка 3, в свою очередь, встречается, довольно часто, но можно выделить нижнюю 6-ю строку (шаг 2, см. рис. 3), где все значения принимают именно 3 вне зависимости от признака К (кредиторская задолженность). Таким образом, если в матрице 2-го уровня «ОНЗ» получается 6, то организация будет иметь оценку 3 в матрице «ОНЗК», а, как было показано ранее, она не чувствительна к признаку К. Тогда в матрице 2-го уровня «ОНЗ» выделим 6-ю строку (шаг 3, см. рис. 3), поскольку оценки равны 6 вне зависимости от

признака З (запасы). На последнем этапе (шаг 4, см. рис. 3) остается определить сочетание оставшихся двух признаков О (основные средства) и Н (нераспределенная прибыль (непокрытый убыток)), при которых в матрице нижнего уровня получается свертка, равная 6. Это достигается при условии $O \neq 1$ и $H=3$, что согласно критериям (см. табл.) обеспечивается тогда, когда доля основных средств превышает 13%, а доля нераспределенной прибыли превышает 26%.

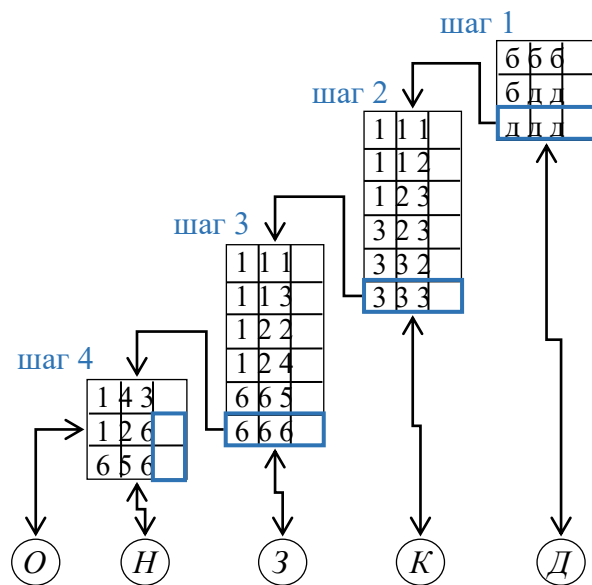


Рис. 3. Алгоритм поиска финансовых паттернов платежеспособных организаций в данных, структурированных в виде МКО со структурой ОНЗКД

Таким образом, путем анализа данных, структурированных в виде МКО со структурой дерева критериев ОНЗКД, были найдены два финансовых паттерна, которые можно использовать при финансовом анализе бухгалтерских балансов.

Строительная организация вне зависимости от размеров дебиторской и кредиторской задолженностей и вне зависимости от имеющихся у организации запасов:

1) много вероятно обанкротится, если доля основных средств занимает в структуре баланса до 39% и доля непокрытого убытка превышает 22% всего баланса;

2) много вероятно не обанкротится, если доля основных средства превышает 13% и доля нераспределенной прибыли превышает 26% всего баланса.

В заключение стоит отметить, что при пяти исследуемых статей баланса возможны 105 альтернативных структур деревьев критериев в виде полных бинарных графов с поименными листьями, из которых 60 графов с последовательной структурой свертки и 45 графов с непоследовательной. Матрицы свертки во всех структурах различны, что позволяет выделять уникальные правила прогнозирования банкротства, которые можно считать финансовыми паттернами. В результате исследования 60 графов с последовательной структурой было замечено, что во многих случаях паттерны либо повторяются, либо расширяют правила. Все обнаруженные паттерны в настоящей работе не приведены в силу ограниченного объема работы.

Библиографический список

1. Бурков В.Н. Проблемы синтеза механизма комплексного оценивания на основе обучающего набора данных / В.Н. Бурков, Н.А. Коргин, О.Л. Марин // 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.

2. *Бурков В.Н.* Идентификация механизмов комплексной оценки на основе унитарного кода / В.Н. Бурков, В.А. Сергеев, Н.А. Коргин // Управление большими системами. – 2020. – Вып. 87. – С. 67–85.
3. *Burkov V.N.* Identification of integrated rating mechanisms as optimization problem / V.N. Burkov, V.A. Sergeev, N.A. Korgin // 2020 13th International Conference «Management of large-scale system development» (MLSD), 28–30 Sept. 2020, Moscow, Russia. – Los Alamitos: IEEE, 2020. – Art. no. 20153257. – 5p.
4. *Alekseev A.O.* Identification of integrated rating mechanisms based on training set / A.O. Alekseev // 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). 11–13 November 2020, Lipetsk, Russia, IEEE, 2020. – P. 398–403.
5. *Alekseev A.O.* Identification of integrated rating mechanisms based on training set with non-serial tree criteria structures / A.O. Alekseev // 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). 10–12 November 2021, Lipetsk, Russia, IEEE, 2021. In press.
6. *Сергеев В.А.* Идентификация механизмов комплексного оценивания как подход анализу дискретных данных / В.А. Сергеев, Н.А. Коргин. – текст : электронный // Управление большими системами: доклады XVII Всероссийской школы-конференции молодых ученых / Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – URL: <https://ubs2021.ipu.ru/node/13279> (дата обращения 24.09.2021).
7. *Носкова А.Р.* Исследование достоверности прогнозирования банкротства при введении новой категории финансового состояния предприятий / А.Р. Носкова, А.О. Алексеев // Прикладная математика и вопросы управления. – 2020 – № 3 – С. 105–122. – DOI: 10.15593/2499-9873/2020.3.06.

EXAMPLE OF IDENTIFYING FINANCIAL PATTERNS IN THE PROBLEMS OF BANKRUPTCY PREDICTION OF CIVIL ENGINEERING COMPANIES

Chugainova Anastasia M., Alekseev Aleksandr O., Alekseeva Irina E.

Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomolsky Av., Perm, 614990, Russia,
asyachuga@yandex.ru

The paper considers the problem of finding financial patterns in the analysis of encoded information about the accounting statements of civil engineering companies and the legal status of their financial solvency, structured in the form of hierarchical matrix integrated rating mechanisms. The problem of analyzing the integrated rating mechanisms is to find rules that will describe the solvency of the enterprise at specific values of the balance sheet items. The authors show an algorithm for identifying financial patterns by the example of a definition of a rule in which construction organization is very likely to go bankrupt and the norm under which the organization is very likely to continue its activities.

Keywords: financial diagnostics of enterprises, bankruptcy prediction, integrated rating mechanisms, data processing, financial patterns

МАТЕМАТИКА И ФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ БЛОКОВ БИОМОРФНОГО НЕЙРОПРОЦЕССОРА И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИХ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Ибрагим Абдулла Хайдар, Удовиченко Сергей Юрьевич

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

Выполнено формирование электрической схемы сжимающего устройства, производящего дискретное косинусное преобразование во входном блоке, и электрической схемы декодирования импульсов от нейронов в двоичный код с пространственно-временным преобразованием и сжатием в выходном блоке биоморфного нейропроцессора. Созданы программные модули для автоматического построения электрических схем входного и выходного блоков нейропроцессора и последующего их численного моделирования в специализированной программе MDC-SPICE, предназначенной для расчета больших электрических схем, содержащих мемристорно-диодные кроссбары.

С помощью программного модуля визуализации результатов моделирования в программе MDC-SPICE на основе модели с линейным дрейфом кислородных вакансий построены вольт-амперная характеристика мемристора и зависимости его электрических величин от времени.

Ключевые слова: биоморфный нейропроцессор, входной и выходной блоки, программный модуль, автоматическое построение электрических схем, визуализация данных.

Введение

В работе [1] представлена разработка биоморфного нейропроцессора на основе нового компонента наноэлектроники – мемристорно-диодного кроссбара для традиционных задач обработки информации, а также для воспроизведения работы кортикальной колонки мозга или её фрагмента. Аналогов разработанного биоморфного нейропроцессора нет. Его уникальность состоит в том, что он построен с помощью оригинальной электрической биоморфной модели нейрона и является биоморфным еще и с точки зрения выполнения функций нейросети, созданной с помощью оригинальной программной биоморфной модели нейрона [2].

В [3] представлен входной блок нейропроцессора [1] на основе логической матрицы с мемристорно-диодным кроссбаром, предназначенный для первичной обработки звуковых и видео сигналов. Обработка включает в себя сжатие путем дискретного косинусного преобразования и отсеивания малых амплитуд выходного образа [4], а также кодирование информации в биоморфные импульсы. Разработана специализированная программа MDC-SPICE для расчета больших электрических схем, содержащих мемристорно-диодные кроссбары [3]. Выходной блок нейропроцессора [1] также включает унифицированную логическую матрицу и производит декодирование импульсов, поступающих из аппаратной нейронной сети, в двоичный код [5].

Целью настоящей работы является создание программных модулей, производящих автоматическое построение электрических схем входного и выходного устройств на языке SPICE для последующего их моделирования в специализированной программе MDC-SPICE, а также создание программного модуля для визуализации результатов расчетов.

Автоматическое построение электрической схемы входного блока

Программный модуль состоит из обработчика входных данных, подпрограммы синтеза электрической схемы и подпрограммы формирования выходного текстового файла. Синтез электрической схемы выполняется программой на нескольких уровнях абстракции: сначала собираются элементарные цепи мемристор-диод, затем массивы этих цепей – кроссбары и затем кроссбары объединяются в совершенные дизъюнктивные нормальные формы (СДНФ). Результатом работы программы является текстовый файл, содержащий описание электрической схемы входного блока с использованием стандартного SPICE синтаксиса. Электрическая схема сформированного сжимающего устройства включает две последовательные логические схемы в виде СДНФ, построенные на основе мемристорно-диодных кроссбаров. Электрическая схема кодирующего устройства содержит одну СДНФ, в которой на подтягивающие резисторы в матрице конъюнкций подается не постоянный уровень напряжения, а импульсы с линий задержек. На рис.1 показана топология электрической схемы скалярного умножения матрицы чисел размером 3x3 на входной вектор из трех компонент, представленных двоичными числами.

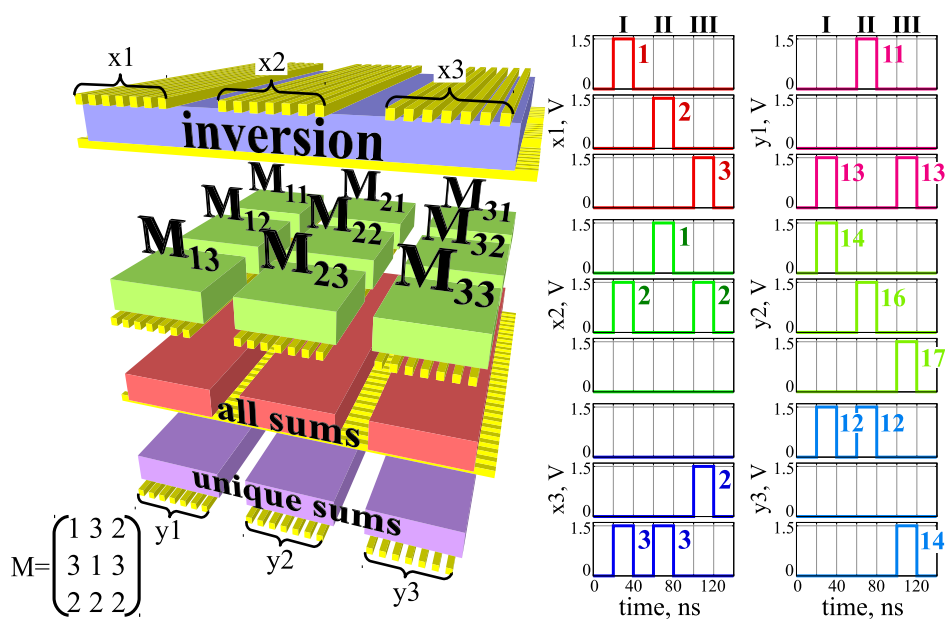


Рис. 1. Топология электрической схемы и результат моделирования скалярного умножения матрицы на вектор в сжимающем устройстве входного блока.

Как следует из правой диаграммы на рис.1, выходной вектор соответствует ожидаемому результату, вычисленному по правилу матрично-векторного умножения.

Автоматическое построение электрической схемы выходного блока.

Программный модуль для автоматического построения электрической схемы выходного блока также содержит три подпрограммы и отличается от программы построения входного блока другим набором входных данных и, соответственно, обработчиком входных данных и подпрограммой синтеза электрической схемы. В качестве тестового примера построена электрическая схема выходного блока, выполняющий с помощью логической матрицы (рис.2) декодирование импульсов от нейронов в двоичный код с пространственно-временным преобразованием и сжатием.

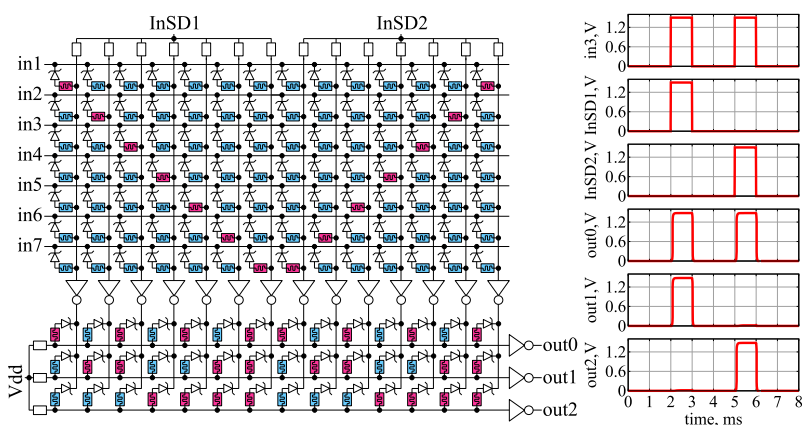


Рис. 2. Электрическая схема пространственно-временного преобразования двухразрядного числа с помощью двух слоёв логической матрицы и результаты её SPICE моделирования

Согласно диаграмме сигналов на рис. 2, входная информация в пространственно-временном формате подается в виде двух импульсов, что соответствует восьмеричному числу 33_8 (соответствует 27_{10}). После симуляции импульсы выходного числа остаются разделёнными по времени с разрядом нового значения, равным 35_8 (соответствует 29_{10}).

Визуализация результатов моделирования симулятора MDC-SPICE.

На рис.3 показана вольт-амперная кривая мемристора и изменение его электрических величин во времени, построенные программой визуализации на основе результатов расчета в MDC-SPICE.

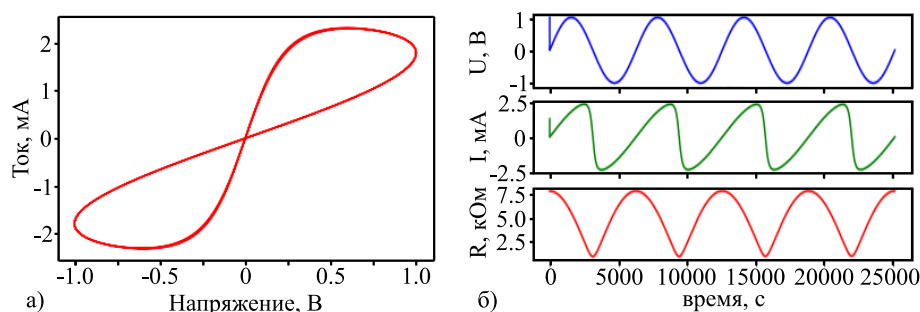


Рис. 3. Визуализация расчета мемристора с линейным дрейфом вакансий: а) вольт-амперная характеристика, б) изменение электрических величин во времени

Программа визуализации написана на языке Python 3 и использует библиотеки *numpy* и *matplotlib*. Она считывает файл построчно и формирует соответствующие массивы значений типа *numpy.array*. Первый массив значений является основным и всегда содержит временные значения. Построение изображения осуществляется с помощью модуля *pyplot* из библиотеки *matplotlib*, которому передаются массивы значений, выбранные для отображения на картинке.

Изображение появляется в виде интерактивной формы с возможностью сохранения в файл.

Библиографический список

1. 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.
2. Filippov V.A., Bobylev A.N., Busygin A.N., Pisarev A.D., Udovichenko S.Yu. A biomorphic neuron model and principles of designing a neural network with memristor synapses for a

- biomorphic neuroprocessor // Neural Computing and Applications. 2020. V.32. P. 2471-2485.
3. *Ибрагим А.Х., Удовиченко С.Ю.* Моделирование устройства кодирования информации для импульсной аппаратной нейросети // Материалы всероссийской конференции молодых ученых «Математическое и информационное моделирование». Тюмень. 2020. Вып.18. С.10-16.
 4. *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.
 5. *Ибрагим А.Х.* Моделирование процессов декодирования информации в биоморфном нейропроцессоре // Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Математика и междисциплинарные исследования». 2020. Пермь. С. 69-73.

AUTOMATIC BUILDING OF ELECTRICAL CIRCUITS OF BIOMORPHIC NEUROPROCESSOR UNITS AND VISUALIZATION OF THEIR NUMERICAL SIMULATION RESULTS

Ebrahim Abdulla H., Udovichenko Sergey Yu.

Tyumen state University,
6 Volodarsky Street, Tyumen, 625003 Russia, abdulla.ybragim@mail.ru

Software modules have been developed for the automatic building of electrical circuits of the input and output blocks of a biomorphic neuroprocessor, as well as for visualizing the results of their numerical simulation in the MDC-SPICE software. The creation of the electrical circuit of the compressing device, which produces a discrete cosine transformation in the input unit, is performed. The electrical circuit intended to decoding neuron spikes into a binary code with space-time transformation and compression in the output block of the neuroprocessor is created. The program for visualizing the simulation results of MDC-SPICE plotted the current-voltage characteristic of the memristor based on a model with a linear drift of oxygen vacancies.

Keywords: biomorphic neuroprocessor, input and output units, software module, automatic building of electrical circuits, data visualization.

ОПИСАНИЕ ВЯЗКОУПРУГИХ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНОГО МАТЕРИАЛА В СЛУЧАЕ ОДНООСНОГО РАСТЯЖЕНИЯ С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ

Кислицын Василий Дмитриевич

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

Мохирева Ксения Александровна

Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук,
614013, Россия, г. Пермь, ул. Академика Королёва, 1, lyadovaka@icmm.ru

В данной работе найдено аналитическое решение изменения диссипативной (неупругой) части тензора напряжений при постоянной скорости одноосного нагружения материала в рамках новой термодинамической модели. Вместе с этим продемонстрировано достаточно точное совпадение теоретической кривой, построенной на основании полученного решения, с результатами экспериментов. Для этого были проведены одноосные испытания с вложенными циклами нагружения для образцов эластомерных нанокомпозитов с наполнением 50 массовыми частями графена. На каждом участке нагрузки и разгрузки задавались временные выдержки, позволяющие пренебрегать проходящими в материале временными процессами, это дает возможность экспериментально находить равновесную кривую деформирования. Полученную равновесную кривую можно описать с помощью упругого потенциала. Определив равновесную (упругую) и найдя диссипативную (неупругую) части тензора напряжений, с высокой точностью был описан вязкоупругий отклик рассмотренных эластомерных материалов.

Ключевые слова: вязкоупругие свойства, конечные деформации, одноосное нагружение.

Свойства вязкоупругих материалов определяются упругим (равновесным) откликом среды и временными (неравновесными) процессами, проходящими в них. Кроме того, в сложный характер поведения эластомерных материалов вносят вклад остаточные деформации, гистерезисные потери и размягчение Маллинза после первого цикла нагружения. Известно, что степень проявления данных явлений зависит не только от скорости приложения нагрузки, но и от структуры материала и от величины заданных деформаций среды. Исторически выделяются два подхода для описания поведения эластомерных материалов – на основе термодинамики сплошных сред [1-4] и на основе идей микромеханики [5, 6]. Хотя в полимерах свойства во многом определяются их строением, идеи рассматривать материал как сплошную среду находят существенно больший отклик. Связано это с простотой построения модели и универсальностью ее применения.

В работе [7] была описана новая термодинамическая модель поведения вязкоупругих материалов в условиях конечных деформаций, в рамках которой тензор напряжений Коши представляется в виде суммы равновесного и диссипативного слагаемых: $\mathbf{T} = \mathbf{T}_{eq} + \mathbf{T}_{dis}$.

Также в работе [7] получено уравнение эволюции тензора \mathbf{A} , отвечающего за неупругие растяжения среды:

$$\dot{\mathbf{A}} + \frac{1}{\tau} \mathbf{A} = b\mathbf{U}, \quad (1)$$

где b и $1/\tau$ – неотрицательные функции параметров состояния среды.

Рассмотрим уравнение эволюции (1) в случае одноосного нагружения материала с постоянной скоростью. В момент времени t_* переменные величины принимают значения λ_* и a_i^* ($i = 1, 2, 3$). На интервале времени от t_* до t кратности удлинений меняются следующим образом: $\lambda_1 = \lambda$, $\lambda_2 = \lambda_3 = 1/\sqrt{\lambda}$, где $\lambda = \lambda_* + \dot{\lambda}\Delta t$, $\dot{\lambda} = const$, $\Delta t = t - t_*$. Также имеем: $\Delta t = \frac{1}{\dot{\lambda}}(\lambda - \lambda_*)$, $\dot{a}_i = \frac{\partial a_i}{\partial \lambda} \dot{\lambda}$.

Рассмотрим случай $i = 1$. Необходимо найти решение уравнения

$$\dot{a}_1 + \frac{1}{\tau} a_1 = b\dot{\lambda} \Leftrightarrow \frac{\partial a_1}{\partial \lambda} + \frac{1}{\tau \dot{\lambda}} a_1 = b \quad (2)$$

при условии $a_1 = a_1^*$ при $\lambda = \lambda_*$.

Общее решение уравнения (2) имеет вид:

$$a_1(\lambda) = C \exp\left[-\frac{1}{\dot{\lambda}\tau} \lambda\right] + b\dot{\lambda}\tau,$$

где C – произвольная постоянная.

Решение с учетом условия $a_1 = a_1^*$ при $\lambda = \lambda_*$ принимает вид

$$a_1(\lambda) = (a_1^* - b\dot{\lambda}\tau) \exp\left[-\frac{1}{\dot{\lambda}\tau} (\lambda - \lambda_*)\right] + b\dot{\lambda}\tau. \quad (3)$$

Отметим, что $a_1(\lambda) \rightarrow b\dot{\lambda}\tau$ при $\lambda \rightarrow +\infty$.

Формула (3) при условии $\dot{\lambda} = 0$ принимает вид

$$a_1(\lambda) = a_1^* \exp\left[-\frac{1}{\tau} \Delta t\right],$$

откуда видно, что величину τ можно трактовать как время релаксации материала.

Теперь рассмотрим случай $i = 2, i = 3$. Необходимо найти решение уравнения

$$\dot{a}_{2,3} + \frac{1}{\tau} a_{2,3} = -\frac{b\dot{\lambda}}{2\lambda^{3/2}} \Leftrightarrow \frac{\partial a_{2,3}}{\partial \lambda} \dot{\lambda} + \frac{1}{\tau} a_{2,3} = -\frac{b\dot{\lambda}}{2\lambda^{3/2}}. \quad (4)$$

Найдем решение уравнения (4) в виде

$$a_{2,3}(\lambda) = a_{2,3}^* \exp\left[-\frac{1}{\dot{\lambda}\tau} (\lambda - \lambda_*)\right] + \exp\left[-\frac{1}{\dot{\lambda}\tau} \lambda\right] \psi(\lambda)$$

при условии $\psi(\lambda_*) = 0$.

Тогда уравнение (4) принимает вид

$$\begin{aligned} \exp\left[-\frac{1}{\lambda\tau}\lambda\right]\frac{\partial\psi(\lambda)}{\partial\lambda}\lambda &= -\frac{b\lambda}{2\lambda^{\frac{3}{2}}}\Leftrightarrow\frac{\partial\psi(\lambda)}{\partial\lambda} = -\frac{b}{2\lambda^{\frac{3}{2}}}\exp\left[\frac{1}{\lambda\tau}\lambda\right]\Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow\psi(\lambda) = -\frac{b}{2}\int_{\lambda_*}^{\lambda}\frac{1}{\xi^{\frac{3}{2}}}\exp\left[\frac{1}{\lambda\tau}\xi\right]d\xi. \end{aligned} \quad (5)$$

Рассмотрим отдельно интеграл в выражении для $\psi(\lambda)$:

$$\begin{aligned} \int_{\lambda_*}^{\lambda}\frac{1}{\xi^{\frac{3}{2}}}\exp\left[\frac{1}{\lambda\tau}\xi\right]d\xi &= \left[\begin{array}{l} \xi/\lambda\tau = u \\ \xi = u\lambda\tau \\ d\xi = \lambda\tau du \end{array}\right] = \frac{1}{\sqrt{\lambda\tau}}\int_{\lambda_*/\lambda\tau}^{\lambda/\lambda\tau}\frac{e^u}{u^{\frac{3}{2}}}du = \\ &= \frac{1}{\sqrt{\lambda\tau}}\left(\int_{\lambda_*/\lambda\tau}^{+\infty}\frac{e^u}{u^{\frac{3}{2}}}du - \int_{\lambda/\lambda\tau}^{+\infty}\frac{e^u}{u^{\frac{3}{2}}}du\right) = \frac{1}{\sqrt{\lambda\tau}}\left(\frac{E_{3/2}(-\lambda_*/\lambda\tau)}{(\lambda_*/\lambda\tau)^{1/2}} - \frac{E_{3/2}(-\lambda/\lambda\tau)}{(\lambda/\lambda\tau)^{1/2}}\right) = \\ &= \frac{E_{3/2}(-\lambda_*/\lambda\tau)}{\sqrt{\lambda_*}} - \frac{E_{3/2}(-\lambda/\lambda\tau)}{\sqrt{\lambda}}, \end{aligned}$$

где $E_n(z) = \int_1^{+\infty}\frac{e^{-zt}}{t^n}dt$ – интегральная экспонента порядка n .

В итоге, для случая $i = 2$ и $i = 3$ получаем решение:

$$a_{2,3}(\lambda) = a_{2,3}^*\exp\left[-\frac{1}{\lambda\tau}(\lambda - \lambda_*)\right] - \frac{b}{2}\exp\left[-\frac{1}{\lambda\tau}\lambda\right]\left(\frac{E_{3/2}(-\lambda_*/\lambda\tau)}{\sqrt{\lambda_*}} - \frac{E_{3/2}(-\lambda/\lambda\tau)}{\sqrt{\lambda}}\right).$$

Отметим, что $a_{2,3}(\lambda) \rightarrow 0$ при $\lambda \rightarrow +\infty$.

На рисунке представлены результаты расчетов, полученные согласно предложенной модели. Рассмотренный материал представлял собой наноккомпозит на основе бутадиен-стирольной матрицы с 50 массовыми частями наполнителя (графеновые пластины). Предложенная программа испытаний детально описана в [4, 8]. Отметим, что при построении не учитывалось размягчение материала (то есть не рассматривался первый цикл нагружения).

Для расчета равновесной части напряжений наноккомпозита использовался потенциал упругой энергии, описанный в работе [8]. При этом сам наноккомпозит рассматривался как сплошная однородная изотропная среда. Расхождения между теоретической и экспериментальной кривыми вызваны возникшими в образце пластическими деформациями.

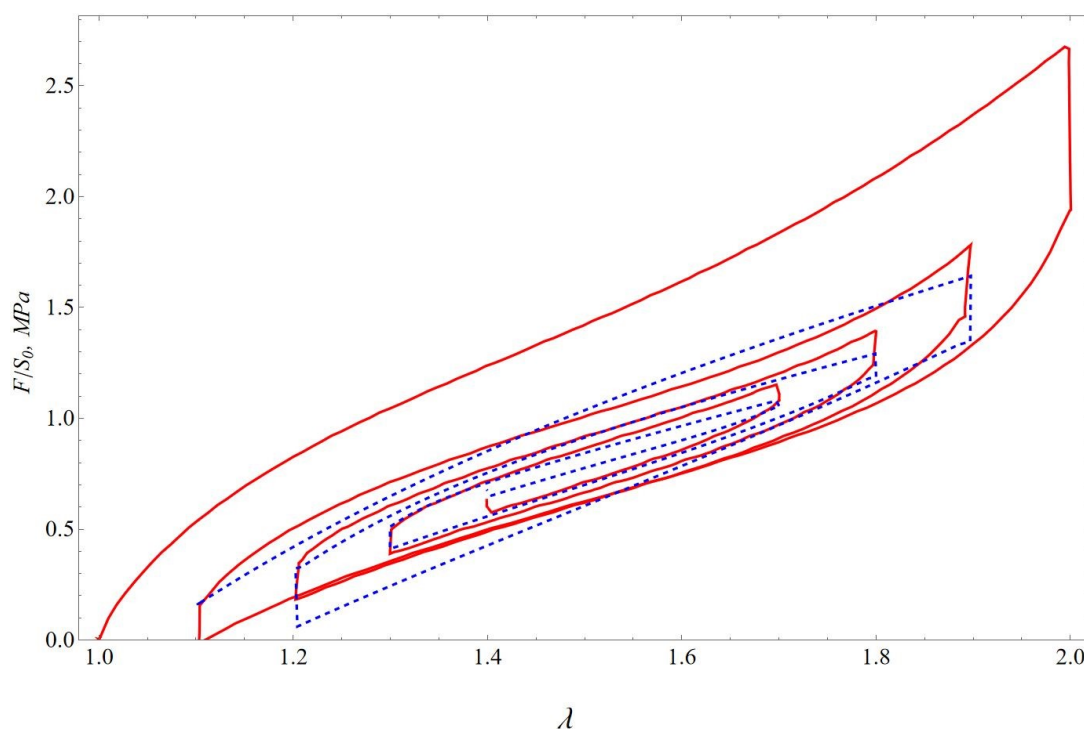


Рис. Графики экспериментальных данных (красная сплошная линия) и теоретических кривых (синяя пунктирная линия) для нанокompозитов с 50 массовыми частями наполнителя (графен). F – действующая сила, S_0 – начальное сечение образца.

В качестве будущей работы планируется рассмотреть предложенную модель более подробно, то есть проанализировать уравнение теплопроводности и частные случаи его представления, а также предложить численное решение в рамках термодинамической модели для высоконаполненных эластомерных материалов.

Библиографический список

1. Reese S., Govindjee S. A theory of finite viscoelasticity and numerical aspects // International Journal of Solids and Structures. 1998. Vol. 35(26/27). P. 3455–3482.
2. Amin A. F. M. S., Lion A., Sekita S., Okui Y. Nonlinear dependence of viscosity in modeling the rate-dependent response of natural and high damping rubbers in compression and shear: Experimental identification and numerical verification // International Journal of Plasticity. 2006. Vol. 22(9). P. 1610–1657.
3. Petiteau J.-C., Verron E., Othman R., Sourne H., Sigrist J.-F., Barras G. Large strain rate-dependent response of elastomers at different strain rates: Convolution integral vs. internal variable formulations // Mechanics of Time-Dependent Materials. 2013. Vol. 17(3). P. 349–367.
4. Кислицын В.Д., Мохирева К.А., Шадрин В.В., Свистков А.Л. Исследование и моделирование вязкоупругого поведения эластомерных нанокompозитов // Вестник ПНИПУ. Механика. 2021. № 2. С. 76–87.
5. Reese S. A micromechanically motivated material model for the thermoviscoelastic material behaviour of rubber-like polymers // International Journal of Plasticity. 2003. Vol. 19(7). P. 909–940.
6. Linder C., Tkachuk M., Miehe C. A micromechanically motivated diffusion-based transient network model and its incorporation into finite rubber viscoelasticity // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. 2011. Vol. 59(10). P. 2134–2156.
7. Кислицын В.Д., Свистков А.Л., Мохирева К.А., Шадрин В.В. Описание поведения вязкоупругих материалов в рамках новой термодинамической модели //

Математическое моделирование в естественных науках: тезисы XXX всероссийской школы-конференции. 2021. [В печати]

8. *Mokhireva K.A., Svistkov A.L.* A new approach to describe the elastic behavior of filled rubber-like materials under complex uniaxial loading // International Journal of Plasticity. 2020. Vol. 202. P. 816–821.

DESCRIPTION OF VISCOELASTIC PROPERTIES OF AN ELASTOMERIC MATERIAL IN THE CASE OF UNIAXIAL TENSION WITH A CONSTANT SPEED

Kislitsyn Vasilii D.

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

Mokhireva Ksenia A.

Institute of Continuous Media Mechanics of the Ural branch of the Russian Academy of Science,
Akademika Koroleva str. 1, Perm, Russia, 614013, lyadovaka@icmm.ru

Abstract. In this work, an analytical solution is found for the change in the dissipative (inelastic) part of the stress tensor at a constant rate of uniaxial loading of the material within the framework of a new thermodynamic model. At the same time, a fairly accurate coincidence of the theoretical curve constructed on the basis of the obtained solution with the experimental results was demonstrated. For this, uniaxial tests with nested loading cycles were carried out for samples of elastomeric nanocomposites filled with 50 mass parts of graphene. At each section of loading and unloading, time holdings were set, which made it possible to neglect the time processes taking place in the material, this makes it possible to experimentally find the equilibrium deformation curve. The resulting equilibrium curve can be described using the elastic potential. Having determined the equilibrium (elastic) and finding the dissipative (inelastic) parts of the stress tensor, the viscoelastic response of the considered elastomeric materials was described with high accuracy.

Keywords: viscoelastic properties, finite deformations, uniaxial loading.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКЦИИ В ДВУХСЛОЙНОЙ СИСТЕМЕ
«ВОЗДУХ – ТЕПЛОУДЕЛЯЮЩАЯ ПОРИСТАЯ СРЕДА»
ПРИ РАЗНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ**

Колчанова Екатерина Андреевна, Колчанов Николай Викторович

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

В работе проводится численное моделирование линейной задачи устойчивости механического равновесия в двухслойной системе «воздух – пористая среда» при наличии внутреннего тепловыделения в поле силы тяжести. Источником тепловыделения с мощностью, зависящей от объемной доли твердой фазы, является пористая матрица. Внешние границы двухслойной системы считаются непроницаемыми и теплопроводными. Используется двухдоменная модель уравнений конвекции в приближении Буссинеска с применением закона Дарси. Определяются пороговые значения внутреннего числа Рэлея-Дарси, при которых в субслоях появляется локальная или крупномасштабная валиковая конвекция. Проводится сравнение решений при двух разных условиях на границе раздела субслоев: модельного условия нулевой касательной скорости воздуха и условия Биверса-Джозефа. Зафиксирована сходимость этих решений с ростом коэффициента Биверса-Джозефа α_{BJ} от 0.1 до 4.0. При малых проницаемостях пористой матрицы наибольшая разница пороговых чисел Рэлея-Дарси при двух разных граничных условиях наблюдается для локальной конвекции в сравнении с крупномасштабными конвективными течениями. При больших проницаемостях пороговое значение для крупномасштабной конвекции начинает зависеть от вида условия на границе раздела субслоев.

Ключевые слова: пассивная конвективная вентиляция, двухслойная система, тепловыделяющая пористая среда, мощность тепловыделения в зависимости от доли твердой фазы, двухдоменная модель, разные условия на границе раздела воздух – пористая среда, условие Биверса-Джозефа.

Конвекция представляет собой подъемно-опускное течение, возникающее в поле силы тяжести при наличии неоднородности плотности газовой или жидкостной среды [1]. Подобная неоднородность может быть связана с формированием вертикального профиля температуры, например, за счет внутреннего тепловыделения. Течение усиливает теплообмен и отвод тепла от перегретых участков в системе, что оказывается полезным в различных природных и технологических процессах. Известно, что при хранении сельскохозяйственной продукции необходимо поддерживать оптимальный температурный режим и не допускать перегрева, которое возможно за счет биологической активности [2]. Массив сельскохозяйственного сырья (например, корнеплодов) представляет собой пористую матрицу, выделяющую тепло в меру плотности его насыпи. Актуальной задачей является управление естественной конвективной вентиляцией воздуха в этой матрице в условиях внутреннего тепловыделения.

В работе рассматривается задача о возникновении конвекции в двухслойной системе «воздух – пористая среда» в поле силы тяжести (рис. 1). Скелет пористой матрицы способен

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-71-10045, <https://rscf.ru/project/21-71-10045/>.

© Колчанова Е.А., Колчанов Н.В., 2021

выделять тепло с мощностью, линейно зависящей от объемной доли твердой фазы (ϕ). Внешние границы системы содержатся при постоянных равных температурах. Течение в воздушном и пористом субслоях системы описывается уравнениями конвекции в приближении Буссинеска [3, 4] по аналогии с движением жидкости [5–9]. Применяется двухдоменная модель, когда уравнения записываются в каждом из субслоев по отдельности с учетом закона Дарси. На границе раздела «воздух – пористая среда» выполняются условия равенства нормальных скоростей, нормальных напряжений, температур и тепловых потоков. В дополнение к ним ставятся условия на касательные компоненты скорости. Мы проводим сравнение решений линейной конвективной задачи для двух видов таких условий: условия равенства нулю касательной компоненты скорости воздуха $V_{ax} = 0$ [10, 11] и условия Биверса-Джозефа $\frac{\partial V_{ax}}{\partial z} = \frac{\alpha_{BJ}}{\sqrt{K}}(V_{ax} - V_{px})$ [12], где K – проницаемость пористой матрицы. Коэффициент Биверса-Джозефа α_{BJ} зависит от свойств пористой матрицы вблизи границы раздела субслоев и определяет изменение касательной скорости в тонком слое порядка \sqrt{K} . Биверс и Джозеф [12] нашли значения этого коэффициента для плоскопараллельного течения над пористой средой, состоящей из алоксита ($\alpha_{BJ} = 0.1$) и трех разных видов металлической пены ($\alpha_{BJ} = 0.78; 1.45; 4.0$). Условие нулевой касательной скорости воздуха $V_{ax} = 0$ не имеет добавочных эмпирических коэффициентов и предполагает, что скорость фильтрации вблизи границы раздела субслоев мала, что дает возможность ей пренебречь [10, 11]. Такая ситуация характерна для пористой среды с небольшой проницаемостью. В нашем исследовании проницаемость пористой матрицы определяется в зависимости от объемной доли твердой фазы по формуле Кармана-Козени [1]: $K(\phi) = D_p^2(1-\phi)^3 / (180\phi^2)$, где средний диаметр D_p гранул (неоднородностей) матрицы в 10 раз меньше общей толщины пористого субслоя h_p .

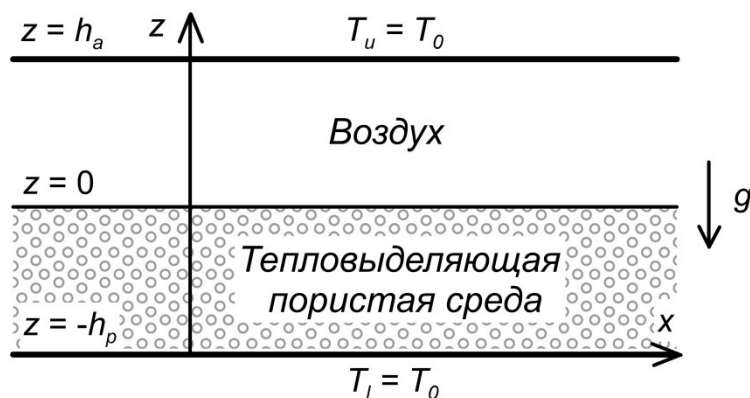


Рис. 1. Двухслойная система «воздух – пористая среда» с внутренним тепловыделением, мощность которого зависит от объемной доли твердой фазы, в поле силы тяжести

В результате численного моделирования линейной конвективной задачи методом построения фундаментальной системы решений получены нейтральные кривые $Ra_l(k) = \phi R_l(k)$, минимумы которых определяют порог возбуждения конвективных валиковых течений определенной длины волны $\lambda = 2\pi/k$. Здесь $R_l = (g\beta Q_s K h_p^3) / (2\nu k_p \chi_{eff})$ – внутреннее число Рэлея-Дарси [1], нормированное на ϕ . На рис. 2 а и б разными цветами показаны нейтральные кривые при моделировании с условием нулевой касательной скорости воздуха (черные линии) и условием Биверса-Джозефа (синие, зеленые и красные линии) на границе раздела субслоев при разных коэффициентах α_{BJ} . Видно, что с ростом

коэффициента Биверса-Джозефа от 0.1 до 4 все решения стремятся к решению, полученному с модельным условием $V_{ax} = 0$, которое оказывается более удобным на практике, поскольку не содержит дополнительных эмпирических констант. При фиксированном значении объемной доли твердой фазы $\phi = 0.6$, характерном для сыпучих гранулированных пористых сред [1], а значит, и при фиксированном малом значении числа Дарси порядка 10^{-5} наибольшее отклонение от решения с $V_{ax} = 0$ наблюдается в области малых длин волн λ для локальных конвективных вихрей (рис. 2 а). Они формируются в пределах воздушного субслоя и слабо проникают в пористую среду, поэтому их пороговое значение чувствительно к выбору условия на границе раздела субслоев в отличие от вихрей большой длины волны, охватывающих оба субслоя. При малых $\phi \leq 0.3$ проницаемость пористого субслоя растет, что приводит к увеличению разницы пороговых чисел Рэлея-Дарси, полученных с помощью двух описанных моделей граничных условий. Течение в этом случае имеет крупномасштабный проникающий характер (рис. 2 б).

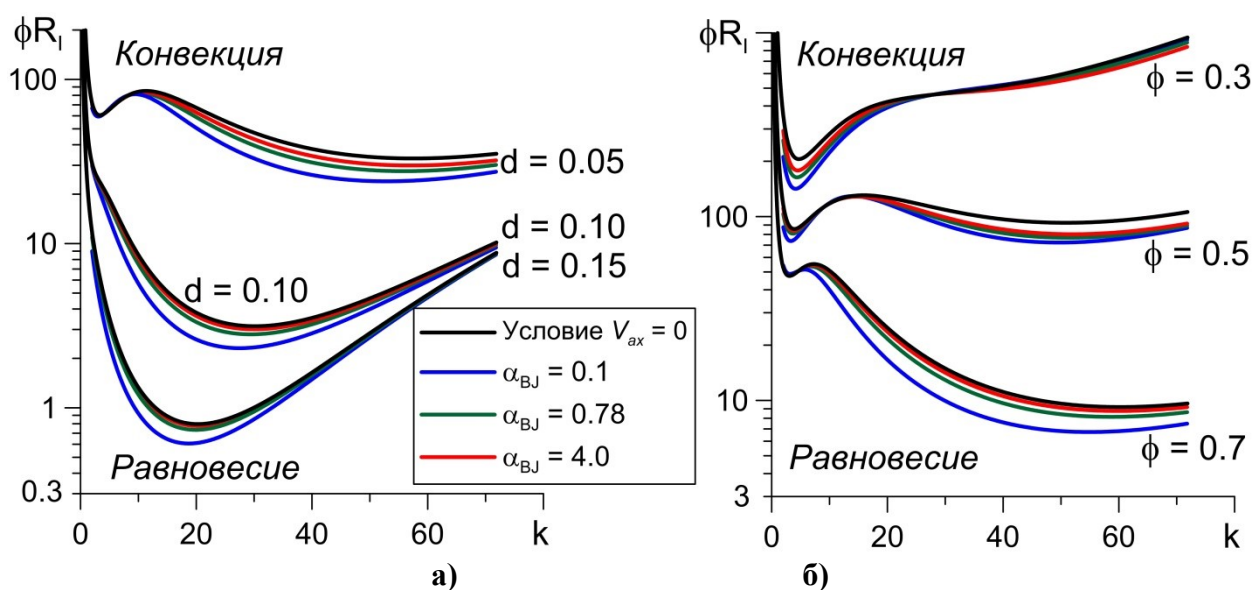


Рис. 2. Нейтральные кривые устойчивости механического равновесия воздуха в двухслойной системе с фиксированным (а) $\phi = 0.6$ и разными отношениями толщин воздушного и пористого субслоев d , с фиксированным (б) $d = 0.05$ и различными значениями объемной доли твердой фазы ϕ . Черные линии соответствуют результатам при условии нулевой касательной скорости воздуха на границе раздела субслоев, а синие, зеленые и красные линии – результатам при условии Биверса-Джозефа

Библиографический список

1. *Nield D.A., Bejan A.* Convection in Porous Media. Switzerland: Springer International Publishing, 2017. 988 p.
2. *Бодров В.И., Бодров М.В.* Тепломассообмен в биологически активных системах (теория сушки и хранения): учеб. пособие. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2013. 145 с.
3. *Ait saada M., Chikh S., Campo A.* Natural Convection Reduction in a Composite Air/Porous Annular Region With Horizontal Orientation // *Journal of Heat Transfer*. 2009. V. 131, N. 022601.
4. *Katto Y., Matsuoka T.* Criterion for onset of convective flow in a fluid in a porous medium // *Int. J. Heat Mass Transfer*. 1967. V. 10, N. 3. P. 297–309.
5. *Hirata S.C., Goyeau B., Gobin D., Carr M., Cotta R.M.* Linear stability analysis of natural convection in superposed fluid and porous layers: influence of interfacial modeling // *Int. J. Heat Mass Transfer*. 2007. V. 50. P. 1356–1367.

6. 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, N. 1. P. 25–42.
7. Gasser R.D., Kazimi M.S. Onset of convection in a porous medium with internal heat generation // *ASME J. Heat Transf.* 1976. V. 98. P. 49–54.
8. Carr M. Penetrative convection in a superposed porous-medium-fluid layer via internal heating // *Journal of Fluid Mechanics*. 2004. V. 509. P. 305–329.
9. Kuznetsov A. V., Nield D. A. The Effect of Strong Heterogeneity on the Onset of Convection Induced by Internal Heating in a Porous Medium: A Layered Model // *Transport in Porous Media*. 2013. V. 99. P. 85–100.
10. Любимов Д.В., Муратов И.Д. О конвективной неустойчивости в слоистой системе // *Гидродинамика*. 1977. Т. 10. С. 38–46.
11. Worster G. Instabilities of the liquid and mushy regions during solidification of alloys // *J. Fluid Mech.* 1992. V. 237. P. 649–669.
12. Beavers G. S., Joseph D. D. Boundary conditions at a naturally permeable wall // *Journal of Fluid Mechanics*. 1967. V. 30. P. 197–207.

MODELING CONVECTION IN A TWO-LAYERED AIR/HEAT-GENERATING POROUS SYSTEM WITH DIFFERENT INTERFACIAL CONDITIONS

Kolchanova Ekaterina A., Kolchanov Nikolay V.

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

The paper deals with numerical simulating a linear stability problem in a two-layered air-porous system with internal heat release in a gravitational field. Porous matrix is a source of heat release with the strength depending on the volume fraction of solid phase. The external boundaries of two-layered system are impermeable and thermally conductive. We apply a two-domain model for convection equations within the Boussinesq approximation with Darcy's law being taken into consideration. The threshold values of the internal Rayleigh-Darcy number, which are for the onset of local or large-scale roller convection in the sublayers, are determined. We compare solutions for two different conditions at the air-porous interface: an artificial condition of zero tangential air velocity and the Beavers-Joseph condition. One obtains a convergence of these solutions with increasing the Beavers-Joseph coefficient α_{BJ} from 0.1 to 4.0. The greatest difference in the threshold Rayleigh-Darcy numbers for two interfacial conditions is observed for local convection in contrast to large-scale convective flows at low permeabilities of porous matrix. The threshold value for the onset of large-scale convection becomes dependent on the type of interfacial condition in the opposite case of high permeabilities.

Keywords: passive convective air ventilation, two-layered system, heat-generating porous medium, heat source strength depending on solid volume fraction, two-domain model, different conditions at the air-porous interface, Beavers-Joseph condition.

КОНВЕКЦИЯ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОМ ВДУВАНИИ ВОЗДУХА В ДВУХСЛОЙНУЮ СИСТЕМУ С ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ ПОРИСТОЙ МАТРИЦЕЙ

Колчанова Екатерина Андреевна, Сагитов Рафиль Вафавич

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

Исследуется влияние вертикального плоскопараллельного сквозного течения на порог возникновения конвекции в двухслойной системе «воздух – пористая среда» с внутренним тепловыделением. Матрица пористой среды выделяет тепло с мощностью, линейно зависящей от объемной доли твердой фазы. Система ограничена сверху и снизу твердыми проницаемыми плоскостями, на которых задаются постоянные равные температуры. Рассмотрение ведется в рамках линейной теории устойчивости для уравнений конвекции в приближении Буссинеска. Применяется двухдоменная модель с учетом закона Дарси. Численное моделирование уравнений производится методом построения фундаментальной системы решений. Получены пороговые внутренние числа Рэлея-Дарси при разных отношениях толщин субслоев и числах Пекле. Выявлена конкуренция крупномасштабной и локальной конвекции с изменением числа Пекле. Показано, что сквозное течение в зависимости от его интенсивности и направления может, как подавлять, так и усиливать конвекцию, возникающую за счет внутреннего тепловыделения.

Ключевые слова: активная конвективная вентиляция, вертикальное сквозное течение, двухслойная система, тепловыделяющая пористая матрица, мощность тепловыделения в зависимости от доли твердой фазы, двухдоменная модель.

В работе рассматривается задача о возникновении конвекции за счет внутреннего тепловыделения в системе двух горизонтальных субслоев воздуха и пористой среды в условиях принудительного вертикального сквозного течения (рис. 1). Пористая среда состоит из матрицы с мощностью тепловыделения Q , линейно зависящей от объемной доли твердой фазы (ϕ): $Q = \phi Q_s$. Система сверху и снизу ограничена твердыми проницаемыми для воздуха плоскостями, на которых поддерживаются одинаковые температуры. Наружный воздух однородно вдувают через нижнюю границу системы со скоростью U , а через верхнюю границу – отсасывают с такой же скоростью. Таким образом, в отсутствие конвекции в субслоях формируется поперечное течение воздуха с однородной вертикальной скоростью U . Конвективное движение приводит к возмущению однородного профиля скорости.

Задача представляет интерес при анализе некоторых технологических процессов с целью их оптимизации. Например, для поддержания необходимого температурного режима при хранении массивов сельскохозяйственной продукции (корнеплодов, сена и др.), которые могут локально перегреваться за счет своей биологической активности [1]. Конвективное движение ускоряет теплоотдачу от перегретых участков продукции [2]. Одной из основных целей нашего исследования является изучение влияния активной вентиляции наружным воздухом на порог возникновения этого движения.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-71-10045, <https://rscf.ru/project/21-71-10045/>.

© Колчанова Е.А., Сагитов Р.В., 2021

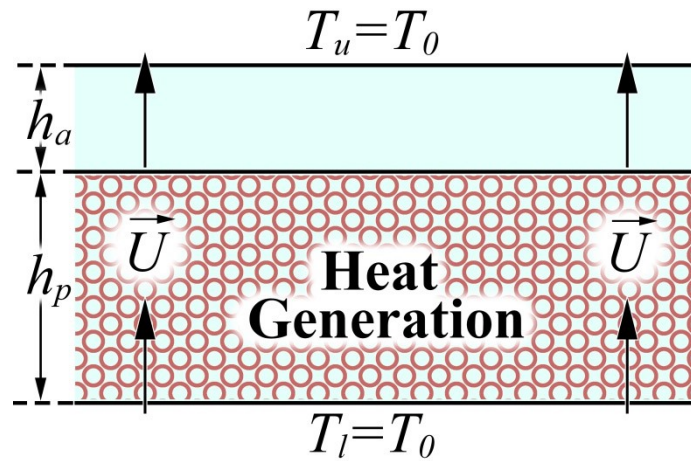


Рис. 1. Двухслойная система «воздух – пористая среда» с внутренним тепловыделением при наличии вертикального сквозного течения в поле силы тяжести

Течение воздуха в субслоях системы описывается уравнениями конвекции в приближении Буссинеска [3, 4] по аналогии с движением жидкости [5–10]. Применяется двухдоменная модель, когда уравнения записываются в каждом из субслоев по отдельности с учетом закона Дарси [2]. Проводится линейный анализ устойчивости вертикального сквозного течения относительно малых пространственных возмущений с волновым числом $k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2}$. При численном моделировании уравнений конвекции методом построения фундаментальной системы решений получаются нейтральные кривые $Ra_l(k) = \phi R_l(k)$, где $R_l = (g\beta Q_s K h_p^3) / (2\nu\kappa_p \chi_{eff})$ – внутреннее число Рэлея-Дарси [1], нормированное на ϕ . Минимумы этих кривых определяют критическое число Рэлея-Дарси для порога возбуждения конвективного движения. Тестовые расчеты выполняются в предельном случае одиночного пористого слоя. Их результаты хорошо согласуются с данными более ранних работ [9, 10].

На рис. 2 а и б изображены нейтральные кривые при различных значениях числа Пекле $Pe = U h_p / \chi_{eff}$, пропорционального скорости сквозного течения U в двухслойной системе с объемной долей твердой фазы $\phi = 0.6$. Положительные значения этого числа соответствуют течению, направленному вверх поперечно субслоям, его отрицательные значения – течению, направленному вниз. Области параметров, при которых сквозное течение теряет свою устойчивость, расположены выше кривых на рис. 2 а и б. Представлены семейства нейтральных кривых для двух отношений толщин субслоев воздуха и пористой среды: $d = h_a / h_p = 0$ и 0.1. В первом случае мы получаем отдельно расположенный пористый слой, во втором случае – двухслойную систему с прослойкой воздуха над пористой средой. При наличии прослойки ($d = 0.1$) с изменением числа Пекле возникает конкуренция двух типов валиковой конвекции, характерных для многослойных систем с пористой средой: крупномасштабной и локальной конвекции. Крупномасштабные длинноволновые конвективные течения имеют проникающий характер и охватывают оба субслоя. Локальные коротковолновые валы формируются, главным образом, в пределах воздушного субслоя, свободного от пористой матрицы. В отдельно расположенном пористом слое ($d = 0$) подобной конкуренции не наблюдается. Имеются лишь валы большой длины волны (рис. 2).

Порог крупномасштабной и локальной конвекции изменяется немонотонно, как с ростом абсолютного значения числа Пекле, так и со сменой его знака, т.е. направления сквозного поперечного течения. Так что, присутствие принудительного течения может, как стабилизировать, так и дестабилизировать конвективную систему (рис. 2).

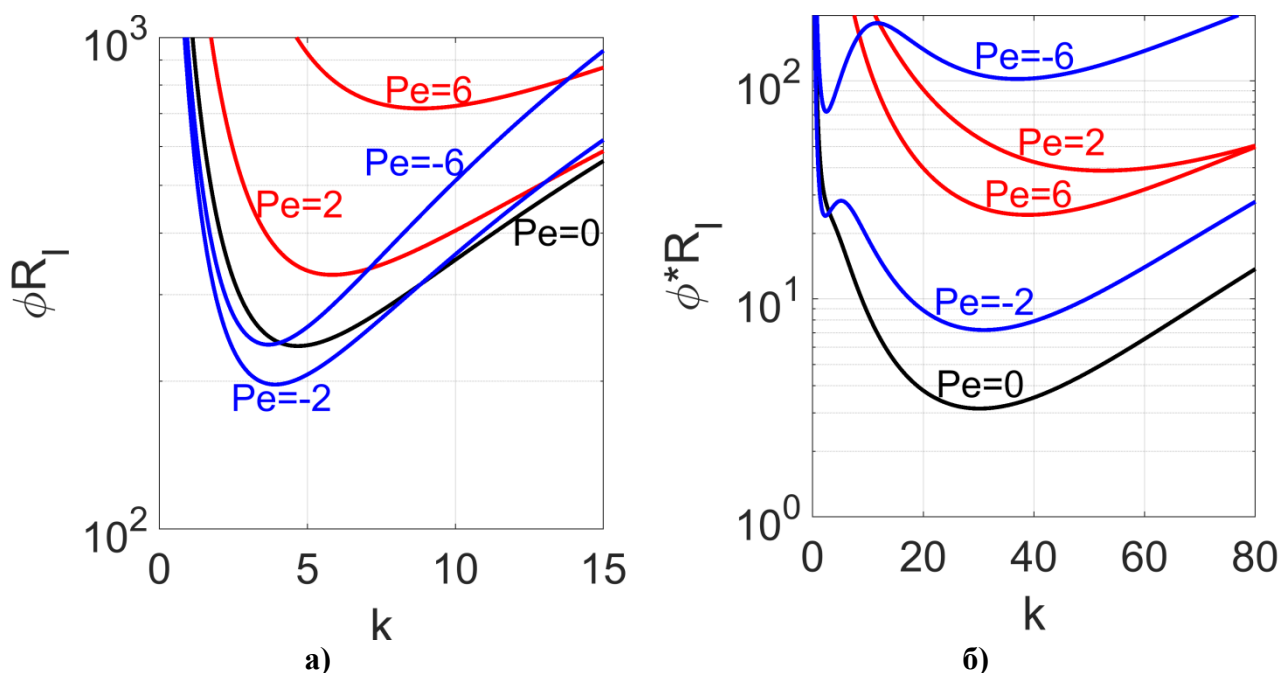


Рис. 2 Нейтральные кривые устойчивости вертикального плоскопараллельного течения воздуха в двухслойной системе с объемной долей твердой фазы $\phi=0.6$ и разными отношениями толщин воздушного и пористого субслоев d : (а) $d=0$ и (б) $d=0.1$

Библиографический список

1. Бодров В.И., Бодров М.В. Теплообмен в биологически активных системах (теория сушки и хранения): учеб. пособие. Нижний Новгород: ННГАСУ, 2013. 145 с.
2. Nield D.A., Bejan A. Convection in Porous Media. Switzerland: Springer International Publishing, 2017. 988 p.
3. Ait saada M., Chikh S., Campo A. Natural Convection Reduction in a Composite Air/Porous Annular Region With Horizontal Orientation // Journal of Heat Transfer. 2009. V. 131, N. 022601.
4. Katto Y., Matsuoka T. Criterion for onset of convective flow in a fluid in a porous medium // Int. J. Heat Mass Transfer. 1967. V. 10, N. 3. P. 297–309.
5. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972. 392 с.
6. Gasser R.D., Kazimi M.S. Onset of convection in a porous medium with internal heat generation // ASME J. Heat Transf. 1976. V. 98. P. 49–54.
7. Carr M. Penetrative convection in a superposed porous-medium-fluid layer via internal heating // Journal of Fluid Mechanics. 2004. V. 509. P. 305–329.
8. 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, N. 1. P. 25–42.
9. Yoon D.-Y., Kim D.-S., Choi C.K. Convective instability in packed beds with internal heat sources and throughflow // Korean J. Chem. Eng. 1998. V. 15, N. 3. P. 341-344.
10. Kuznetsov A. V., Nield D. A. The effect of vertical throughflow on the onset of convection induced by internal heating in a layered porous medium // Transport in Porous Media. 2013. V. 100, N. 1 P. 101–114.

CONVECTION AT VERTICAL AIR INJECTION INTO A TWO-LAYERED SYSTEM WITH HEAT-GENERATING POROUS MATRIX

Kolchanova Ekaterina A., Sagitov Rafil V.

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

The effect of vertical plane-parallel throughflow on the onset of convection in a two-layered air-porous system with internal heat generation is investigated. The matrix of the porous medium emits heat with a strength that is linearly dependent on the volume fraction of solid phase. The system is bounded at the top and bottom by solid permeable planes with equal constant temperatures. The consideration is carried out within the framework of linear stability theory for the convection equations within the Boussinesq approximation. The two-domain model that takes into account Darcy's law is applied. The equations are numerically modeled by constructing a fundamental system of solutions. The threshold internal Rayleigh-Darcy numbers for different Peclet numbers and ratios of sublayer thicknesses are obtained. The competition of large-scale and local convective flows is revealed by varying the Peclet number. It has been shown that throughflow, depending on its intensity and direction, can either suppress or enhance convection arising due to internal heat release.

Keywords: active convective air ventilation, vertical throughflow, two-layered system, heat-generating porous matrix, heat source strength depending on solid volume fraction, two-domain model.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕТАНА В ШАХТЕ

Конотоп Данил Алексеевич, Максимов Петр Викторович, Николаев Александр Викторович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, konotopda@gmail.com

В статье рассматривается два способа проветривания тупиковой камеры одного из блоков рудника. Первый представляет собой установку на входе в камеру вентилятора, поток которого направлен к зоне забоя. Второй способ заключается в присоединении к вентилятору трубопровода, ведущего к тупику камеры. Оба случая исследуются с помощью компьютерного моделирования в программном комплексе Ansys Fluent на предмет эффективности удаления опасных газов из зоны повышенной их концентрации. Для описания распространения газов используется модель переноса смеси (Species Transport Model). В качестве загрязняющего газа рассматривался метан, который предположительно выделялся из пробуренного в своде шпура вблизи зоны забоя. По результатам численных экспериментов показаны особенности обоих способов. Также на основе расчетов предложена корректировка варианта проветривания с вентилятором и трубопроводом, которая повысила эффективность удаления метана на 40%.

Ключевые слова: вентиляция, вычислительная гидродинамика, Ansys Fluent, Species Transport, CFD

Для обеспечения безопасного нахождения человека в подземных выработках обязательным условием является проветривание [1]. Цель этого процесса снабдить добычной участок свежим воздухом и устранить возможные опасные газы, которые могут выделяться из пробуренной породы.

В работе рассматривается частный объект – тупиковая камера длиной 200 м, высотой 3,7 м и шириной 6,1 м, прилегающая к блоковому транспортному штреку. Предполагается что в своде камеры в 10 м от зоны забоя пробурен шпур из которого выделяется метан (0,1 кг/с). В рамках данной работы исследуется две схемы проветривания описанного случая. Первый представляет собой установку на входе в камеру вентилятора, поток которого направлен к зоне забоя. Второй заключается в присоединении к вентилятору трубопровода, ведущего к тупику камеры. Конфигурация тупиковой камеры представлена на рис. 1.

Математическая постановка включает в себя осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса, в том числе:

- уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0, \quad (1)$$

- уравнение движения

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (2)$$

С целью описания Рейнольдсовых напряжений для замыкания представленных уравнений используется модель турбулентности SST $k-\omega$ [2], включающая:

- уравнение переноса

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \tilde{G}_k - Y_k + S_k \quad (3)$$

а также

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (4)$$

Изменение концентрации метана Y_{ch4} в воздушной среде описывается следующим соотношением:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_{ch4}) + \nabla \cdot (\rho u Y_{ch4}) = -\nabla \cdot J_{ch4} + S_{ch4} \quad (5)$$

при этом, J_{ch4} определяется как:

$$J_{ch4} = \left(\rho D_{ch4,m} + \frac{\mu_t}{Sc_t} \right) \nabla \cdot Y_{ch4} - D_{T,ch4} \frac{\nabla T}{T} \quad (6)$$

Граничные условия представляют собой задание массового расхода на входе потока 10 кг/с, а на выходе нулевой избыточное давление. На всех стенках домена наложено условие преграды с отсутствием скольжения.

Представленная выше система дифференциальных уравнений в частных производных решалась с использованием численных алгоритмов (метод конечных объемов), реализованных в прикладном пакете ANSYS Fluent. Для анализа эффективности работы вентиляции в установившемся режиме оценивалась общая масса метана в расчетном домене. Также для понимания работы той или иной системы проветривания определялось распределение концентрации метана в камере.

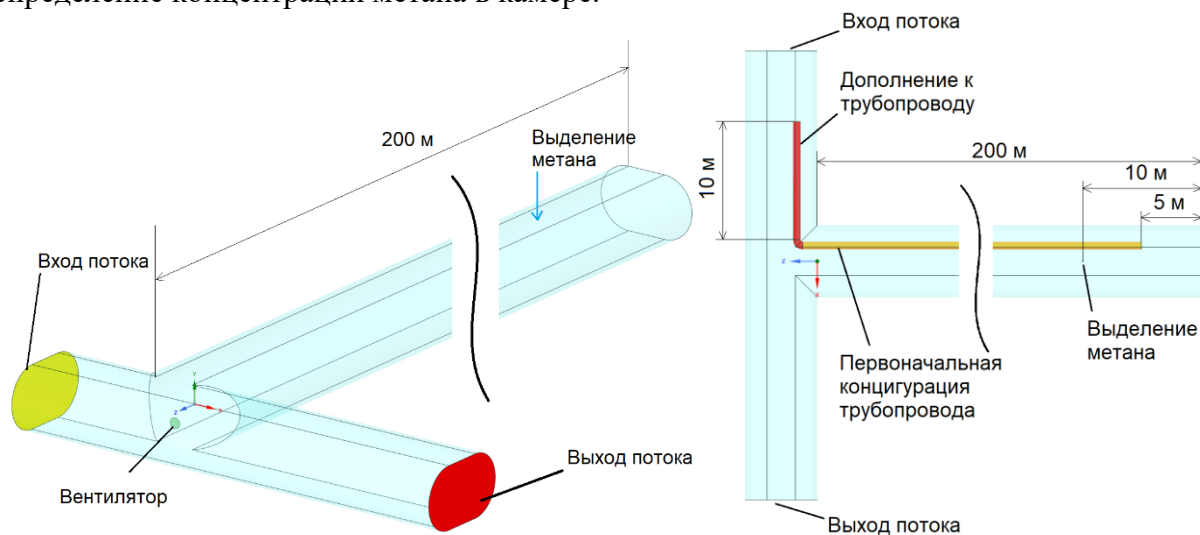


Рис. 1. Конфигурация тупиковой камеры. Слева – вариант проветривания с вентилятором.

Справа – вариант проветривания с вентилятором и трубопроводом, а также предложенное дополнение к существующей конфигурации

После оценки результатов было очевидно, что эффективность двух систем слабо отличается с точки зрения удаления метана (см. таблицу), а присутствует различие только в распределении его концентрации. Это связано с тем что воздушная смесь всасывается вблизи входа в тупиковую часть, тем самым загрязнённый воздух не в полной мере выносится из камеры и начинает циркулировать по контуру. В связи с этим предложено изменить конфигурацию способа вентиляции с трубопроводом и изменить положение вентилятора

и присоединенного к нему трубопровода, выносив его за поворот ко входу потока (см. рис. 1). Также можно отметить, что в первом варианте наблюдается застой газа вблизи конца тупика.

Таким образом удалось уменьшить описанный выше эффект, что наглядно демонстрируется на рис. 2. Видно, как в трубопроводе в таком случае концентрация метана находится на низком уровне. Общая масса метана в камере в установившемся режиме снизилась со 117,2 кг до 71,4 кг (на 40%).

Таблица. Сравнение эффективности вариантов вентиляции по критерию общей массы метана

| Вариант вентиляции | Общая масса метана в расчетном домене, кг |
|--|---|
| С вентилятором | 117,34 |
| С вентилятором и трубопроводом | 117,2 |
| С вентилятором и трубопроводом с дополнением | 71,39 |

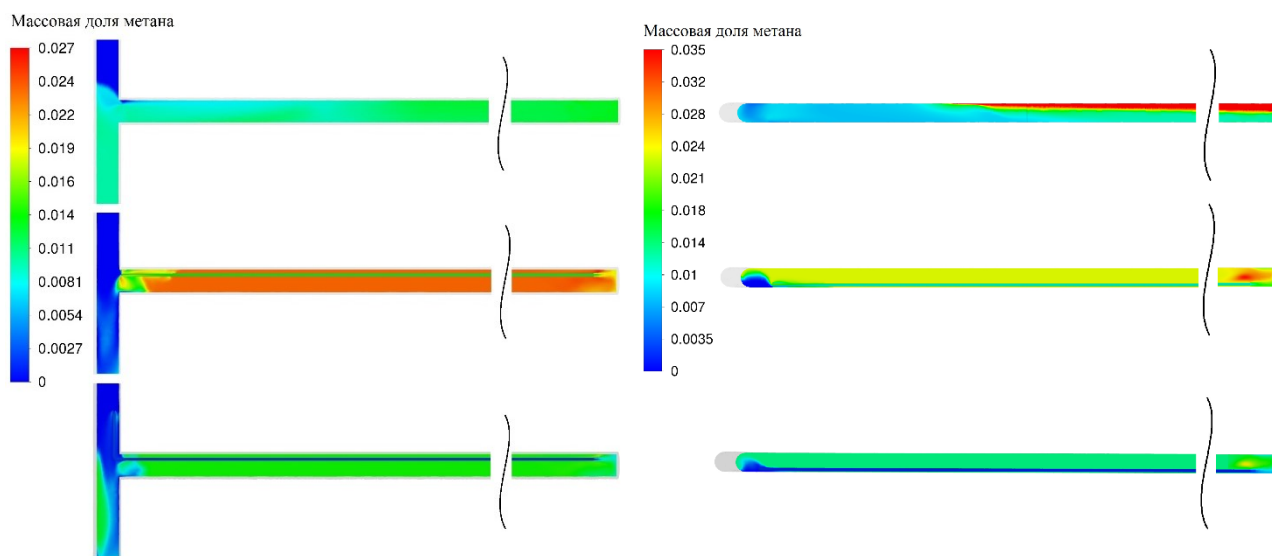


Рис. 2. Массовая доля метана. Слева – горизонтальное сечение (вид сверху) на уровне 0,43 м от пола. Справа – вертикальное сечение (вид сбоку) 1,35 м от центра камеры. Сверху вниз: вариант проветривания с вентилятором, вариант с вентилятором и трубопроводом и дополненный вариант

Библиографический список

1. *Мохирев Н.Н.* Разработка современных методов и средств обеспечения высокоэффективного проветривания рудников, обладающих малыми аэродинамическими сопротивлениями: дис. канд. тех. наук. Пер. гос. тех. университет, Пермь, 1994.
2. *F. R. Menter.* Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications. *AIAA Journal*, 32(8):1598-1605, August 1994.

NUMERICAL MODELLING OF METHANE PROPAGATION IN A MINE

Konotop Danil A., Maksimov Petr V., Nikolaev Aleksandr V.

Perm National Research Polytechnic University,
Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614990, konotopda@gmail.com

This article discusses two methods of ventilating a dead-end chamber in one of the mine's blocks. The first is the installation of a fan at the inlet of the chamber with the flow directed towards the face area. The second method consists in connecting a pipeline leading to the dead end of the chamber to the fan. Both cases are investigated by means of computer simulation in the Ansys Fluent software package in order to determine the efficiency of removal of dangerous gases from the zone of high gas concentration. A mixture transport model (Species Transport Model) is used to describe the propagation of gases. Methane, which was presumably emitted from a borehole drilled in the vault near the downhole zone, was considered as a pollutant gas. Based on the results of numerical experiments, features of both methods are shown. Also, based on the calculations, a correction of the venting option with a fan and a pipeline, which increased the efficiency of methane removal by 40%, was proposed.

Keywords: ventilation, Ansys Fluent, Species Transport, CFD

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБЛЕГЧЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Ложкин Денис Витальевич, Максимов Петр Викторович

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

Для получения наиболее выгодного по какому-либо критерию варианта изделия в работе предлагается использовать двухэтапный метод проектирования оптимальной детали. На первом этапе решается обычная задача топологической оптимизации, в результате которой итоговая геометрия кронштейна несколько отличается от математически обоснованного результата вследствие ряда причин, поэтому далее предлагается провести дальнейшую доработку геометрии с использованием инструментария CAD-систем. В качестве основы для проведения последующих расчетов выступает результат топологической оптимизации, при этом некоторые части уже оптимизированной геометрии вновь перестраиваются, замещаясь телами с параметризованными размерами. Геометрия кронштейна автоматически перестраивается при изменении параметризованных размеров. Далее для новой геометрии выполняется параметрическая оптимизация с использованием собственных или известных и уже реализованных в программных комплексах алгоритмов, что позволяет получить более точную топологию детали.

Ключевые слова: топологическая оптимизация, двухэтапная оптимизация, параметрическая оптимизация, аддитивные технологии, метод SIMP, ANSYS Mechanical.

В настоящее время с ростом качества изготавливаемых конструкций требования к качеству деталей конструкций также возрастает. Чтобы получить наиболее эффективную по какому-либо критерию деталь, необходимо решить задачу топологической оптимизации [1,2].

В данной работе рассматривается способ получения оптимизированной детали с помощью двухэтапной методики проектирования с использованием топологической и параметрической оптимизаций. Рассматриваемым объектом выступает кронштейн из алюминиевого сплава AlSi10Mg, массу которого требуется снизить, при этом возникающие в кронштейне напряжения не должны превышать 185 МПа (эквивалентно запасу прочности равному 1,5). Для того чтобы алгоритм оптимизации не был ограничен предоставленным ему объемом, необходимо расширить расчетную область посредством увеличения исходного объема детали. Исходная геометрия кронштейна и геометрия с увеличенной расчетной областью показана на рис. 1.



Рис. 1. Геометрия кронштейна: а) – исходная; б) – расчетная

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

© Ложкин Д.В., Максимов П.В., 2021

Кронштейн закреплен к основанию болтовым соединением (красные точки на рис.1б). Нагрузка подается через центральные ушки. Известны три различных режима нагружения с определенным направлением и величиной результирующей силы (см. табл.).

Таблица. Варианты нагружения кронштейна

| № | P_x , Н | P_y , Н | P_z , Н |
|---|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 0 | 800 | 1000 |
| 2 | 700 | 500 | 700 |
| 3 | 1500 | 0 | 0 |

Задача топологической оптимизации кронштейна далее будет выполнена методом SIMP [3] с использованием пакета ANSYS – модуля Topology Optimization.

Результат топологической оптимизации приведен на рис.2.



Рис. 2. Геометрия кронштейна после топологической оптимизации

Масса топологически оптимизированной детали уменьшилась в 2.7 раза. Для проверки пригодности полученной геометрии необходимо провести верификационный расчет для каждого случая нагружения и посмотреть, удовлетворяет ли полученная перепроектированная модель заданным ограничениям (интенсивности возникающих в кронштейне напряжений). На рис.3 представлено распределение интенсивностей напряжений в детали для каждого случая нагружения.

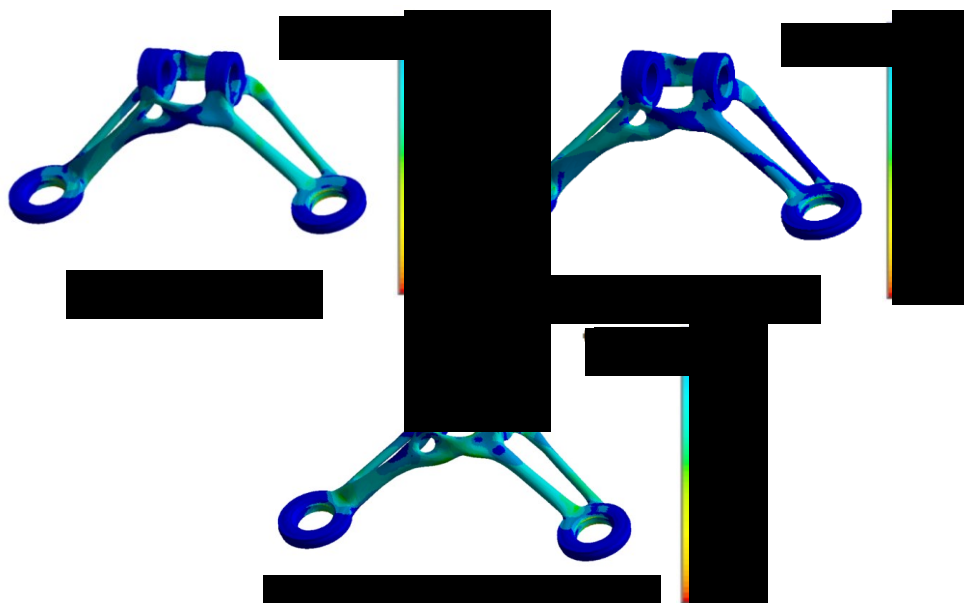


Рис. 3. Интенсивности напряжений для трех случаев нагружения в кронштейне после топологической оптимизации: а) – нагружение №1; б) – нагружение №2; в) – нагружение №3

Цветовая шкала настроена так, что красный цвет соответствует интенсивности напряжений 185 МПа. Видно, что такой уровень напряжений не достигнут вследствие огрубления геометрии при формировании топологии «1-0». Это означает, что полученная топология имеет лишний материал, который все еще может быть безболезненно исключен из итоговой геометрии. Для этого можно выбрать другой пороговый уровень псевдоплотности, заново получить и вручную доработать САД-геометрию, сгладить ее и провести проверочные расчеты, однако вся эта процедура слабо автоматизирована и крайне трудоемка в случае множества итераций. Поэтому далее в работе будет продемонстрирован иной подход.

Заметим также, что второй случай нагружения кронштейна всегда менее опасен, чем остальные, вследствие чего в дальнейших расчетах он будет исключен из рассмотрения.

Второй этап предложенной методики продемонстрирован на примере оптимизации двух ножек детали, расположенных с правой стороны. В обеих ножках выделены эллипсы, полуоси которых могут варьироваться в процессе оптимизации. Средствами САД-системы через эллипсы натянуты криволинейные поверхности. Гибридная САД-модель, часть которой представляет из себя фасеточную модель из треугольников, а часть является параметризованной криволинейной аналитической поверхностью с обозначенными местами расположения эллиптических сечений, представлена на рис. 4.

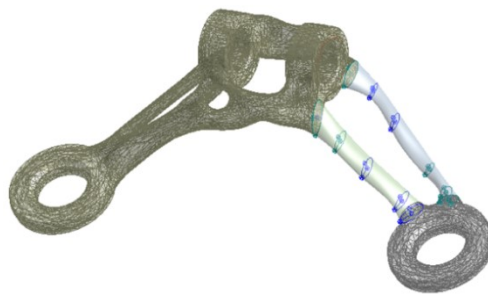


Рис. 4. Гибридная САД-модель кронштейна с параметризованными эллиптическими сечениями

Представленная на рис.4 геометрия содержит 7 эллиптических сечений, имеет 14 варьируемых параметров (полуоси эллипсов). Для данной модели проводится параметрическая оптимизация по поверхности отклика. Поверхность отклика строится по 285 расчетным точкам. На рис.5 отображена деталь с подобранными оптимальными параметрами эллиптических сечений.

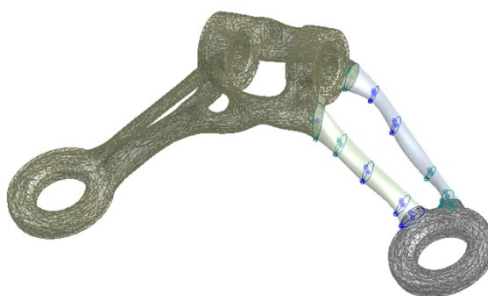


Рис. 5 Гибридная САД-модель кронштейна с параметризованными эллиптическими сечениями после параметрической оптимизации

На рис. 6 представлено распределение интенсивностей напряжений для двух расчетных случаев в детали после повторной оптимизации по поверхности отклика.



Рис. 6 Интенсивности напряжений для двух случаев нагружения в кронштейне после параметрической оптимизации по поверхности отклика: а) – нагружение №1; б) – нагружение №2

Видно, что в распределении интенсивности напряжений по ножкам кронштейна присутствует красный оттенок, показывающий наличие в детали НДС, при котором интенсивности напряжений близки к исходному предельному значению 185 МПа. Вес детали после повторной оптимизации уменьшился на 5% в сравнении с результатом топологической оптимизации, при этом деталь дорабатывалась не целиком, так как в работе стояла задача продемонстрировать сам подход, методику, в связи с чем результат может быть улучшен.

Полученные результаты демонстрируют, что геометрия после двухэтапной оптимизации получилась на 65,7% легче исходной модели, не потеряв при этом жесткости, что обеспечивается самим алгоритмом топологической оптимизации SIMP, в рамках которого для заданного объема материала осуществляется поиск топологии с наименьшей податливостью [4].

Библиографический список

1. Фетисов К.В., Максимов П.В. Практическое применение топологической оптимизации и аддитивных технологий изготовления на примере легковесных аэрокосмических изделий // Математика и междисциплинарные исследования – 2018. Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием. 2018. С. 120-123.
2. Wang M., Wang X., Guo D. A level set method for structural topology optimization // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 2003. Vol. 192. P. 227–246.
3. Bendsoe M.P., Kikuchi N. Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 1988. Vol. 71. P. 197-224.
4. Lozhkin D.V., Maksimov P.V. Topological optimization of a part taking into account technological constraints // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [Electronic resource]. 2021. Vol. 1100. Art. 012036. P. 1-5.

DESIGNING LIGHTWEIGHT PRODUCTS BASED ON TOPOLOGICAL OPTIMIZATION METHODS

Lozhkin Denis V., Maksimov Petr V.

Perm National Research Polytechnic University,
Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614000, pvmperm@mail.ru

To obtain the most advantageous variant of the product according to any criterion, it is proposed to use a two-stage method of designing the optimal part. At the first stage, the usual problem of topological optimization is solved, as a result of which the final geometry of the bracket slightly differs from the mathematically substantiated result due to a number of reasons, therefore, further it is proposed to further refine the geometry using the tools of CAD systems. The result of topological optimization serves as the basis for subsequent calculations, while some parts of the already optimized geometry are rebuilt again, being replaced by bodies with parameterized dimensions. The bracket geometry is automatically rebuilt when parameterized dimensions are changed. Further, for the new geometry, parametric optimization is performed using our own or well-known algorithms already implemented in software packages, which allows obtaining a more accurate topology of the part.

Keywords: topological optimization, two-stage optimization, parametric optimization, additive technologies, SIMP method, ANSYS Mechanical.

ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССЕИВАЮЩИХ СТРУКТУР В ВОЛОКНЕ

Наговицына Дарья Владимировна, Конин Юрий Александрович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, ^ad.nagovitsyna2016@yandex.ru,
^byuri-konin@yandex.ru

В данной работе представлен процесс создания трехмерной модели волоконного рассеивателя. Данная модель используется для исследования профиля рассеивания медицинских зондов, с целью верификации методов создания рассеивающих структур и для поиска идеальной структуры для цилиндрического профиля рассеивания. На данном этапе была создана модель равномерной периодической рассеивающей структуры и проведена верификация полученных данных с экспериментом. Было выявлено, что профиль рассеивания реальной структуры совпадает с профилем модели качественно. Для количественной оценки необходимо вводить в модель параметры реальных измерительных сенсоров.

Ключевые слова: 3D-моделирование, рассеивание, оптический разряд, микрополости, оптическое волокно.

Введение

Современные медицинские технологии базируются на фундаментальных исследованиях в физике [1]. Так способность лазерного излучения эффективно возбуждать фотохимические реакции, а также разогревать ткани используется в современных методах лечения объемных опухолей печени, легких, простаты, мозга и др. В фотодинамической терапии применяется метод введения красителя-фотосенсибилизатора, концентрация которых высока в опухоли, и освещения определенными длинами волн света [2,3]. Внутри ткани обычный кислород под излучением света превращают в метастабильный кислород, который вызывает гибель опухолевых клеток ткани. В качестве доставки оптического излучения используют гибкие оптические волокна, которые должны быть безопасны для организма и иметь высокую химическую стойкость, иметь высокую лучевую стойкость чтобы не разрушаться во время операции, быть гибкими, упругими и прочными чтобы не обломиться во время введения и извлечения из организма. Часть волоконного зонда, в сердцевине которого присутствует рассеивающая структура, называется диффузором (рис. 1). Излучение на диффузоре должно рассеиваться и заполнять все пространство вокруг оптического волокна, то есть оно должно быть однородным, с интенсивностью, не меняющейся по длине рассеивающего дистального конца и азимутально не изменяющегося. Диффузор должен формировать осесимметричное гомогенное излучение.

Экспериментальная часть

Диффузор, который стал примером для модели, был получен способом оптического пробоя [4]. При контакте торца оптического волокна с металлическими поверхностями, происходит поглощение лазерного излучения поверхностью. Волна, проходящая по световоду, образует плазму и является волной медленного оптического горения, она распространяется за счет переноса энергии теплопроводностью. После прохождения искры в

области сердцевины образуются микрополости воздуха (пузыри или каверны), показатель преломления которых отличается от показателя преломления сердцевины. При этом волноводные свойства полностью нарушаются [5,6]. Данная структура является перспективной средой для рассеивания света в волокне. Наиболее значимый вопрос данного исследования состоит в том, чтобы сконструировать структуру микронеоднородностей, которая будет обеспечивать равномерный, однородный и цилиндрический профиль рассеивания как по всей длине диффузора, так и по азимутальной координате.

Описание модели

Для того чтобы понять, как сделать однородный диффузор и саму структуру максимально эффективной, была поставлена задача моделирования такой структуры в компьютерном программном обеспечении Multiphysics Comsol методом конечных элементов. В данной работе представлена реальная модель оптического волокна (Double-cladding Passive Fiber), фирмы YOFC с геометрическими размерами сердцевины/оболочки 10/130 мкм соответственно. Все размеры которого были заранее измерены на металлографическом микроскопе Altami MET 2.

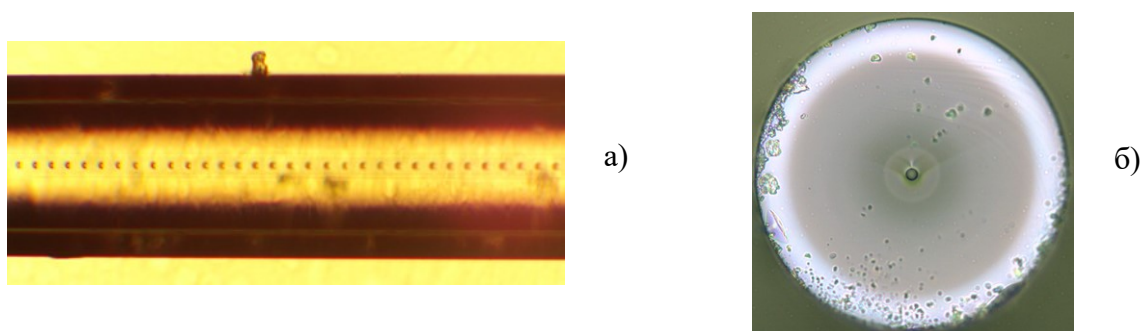


Рис. 1. Реальное оптическое волокно с рассеивающей периодической структурой: а) вид с торца; б) вид сбоку

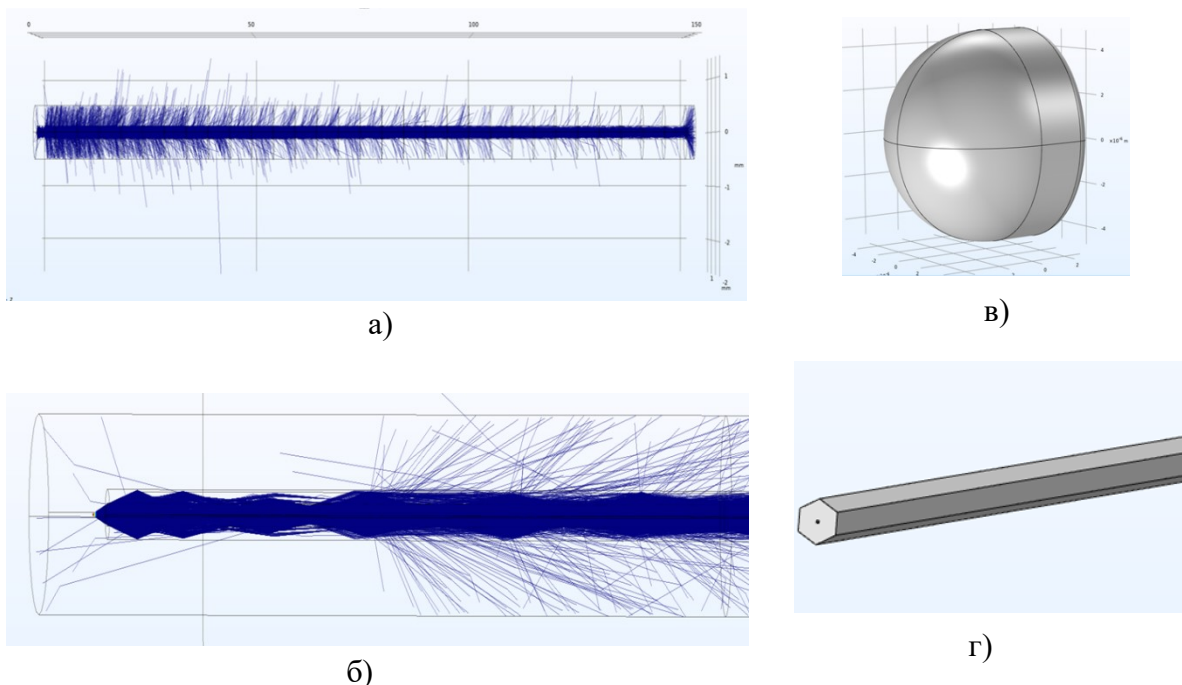


Рис. 2. Модель диффузора: а) модель распространения лучей; б) увеличенная модель; в) пулеобразная модель пузырька; г) модель шестигранной кварцевой оболочки волокна

В данной модели (рис. 2) представлено оптическое волокно с рассеивающей структурой, длиной 15 см, в воздушном пространстве.

Внутри волокна были введены периодические структуры микрополостей, которые были получены с помощью оптического разряда волокна [6]. Модель волокна состоит из сердцевины с диаметром 10 мкм, шестигранной кварцевой оболочки диаметром 130 мкм, и защитного покрытия из двухслойного акрилата диаметром 250 мкм. Одиночный элемент-микропузырек имеет диаметр 5,7 мкм. Данные размеры были определены с помощью микроскопа и верифицированы по спецификациям оптического волокна.

Показатели преломления материалов были выбраны из встроенной библиотеки Comsol. Сердцевина – кварц, легированный оксидом германия ($n=1,4589$), оболочка – кварцевое стекло ($n=1,4563$), зуп- полимерная оболочка из метилакрилата ($n=1,4619$). Геометрические модели сложной формы шестигранной кварцевой оболочки и пулеобразных пузырьков были построены в отдельных файлах Comsol и экспортированы в основную модель. В качестве граничных условий были введены следующие: отсутствие переотражений, распространяющиеся лучи не меняют свою фазу и поляризацию, лазерный источник излучения с длиной волны 660 нм испускает конический пучок с апертурой 0,46, который распространяется по волокну. Вокруг рассеивателя построен цилиндр, которому присвоены свойства детектора и заморозки лучей, таким образом излучение дальше этого цилиндра распространяться не может. Благодаря детектору получены профили рассеивания света из модели диффузора.

Обсуждение результатов

Для сравнения данных моделирования был проведен ряд экспериментов по измерению профилей рассеивания реальных оптических диффузоров. Построена установка (рис. 3) для измерения тех же параметров, что и в модели, а именно, продольный и азимутальный профиль рассеивания. Светимость диффузора измерялась от 0° до 360° каждые 10° . Результаты приведены на рис. 4.

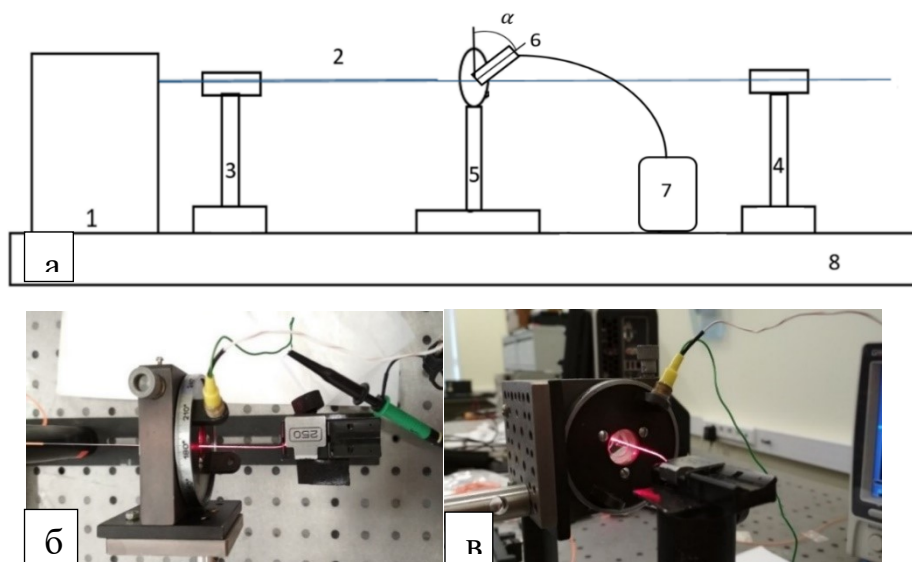


Рис. 3. Схема экспериментальной установки (а) для измерения светимости диффузора.

Фотографии установки для измерения светимости вид сверху (б) и вид спереди (в).

1 – многомодовый источник излучения, лазер FOD2114; 2 – одномодовое оптическое волокно Double-cladding Passive Fiber 10/130 с пузырьками; 3, 4 – держатель ОВ; 5 – гониометр; 6 – кремниевый фотодиод ФД-8К; 7- цифровой запоминающий осциллограф GW instek GDS 73252

Из модели видно, что большая часть света рассеивается вначале волокна, и с увеличением длины рассеянных лучей становится все меньше. Это также видно из графика. Количество фотонов, доходящих до более удаленных частей диффузора, падает по логарифмическому закону.

При сравнении эксперимента по измерению светимости волоконно-оптического диффузора и модели, результаты не совпадают, потому что метод трассировки лучей предполагает последовательное слежение за конкретным лучом в приближении геометрической оптики на каждом препятствии.

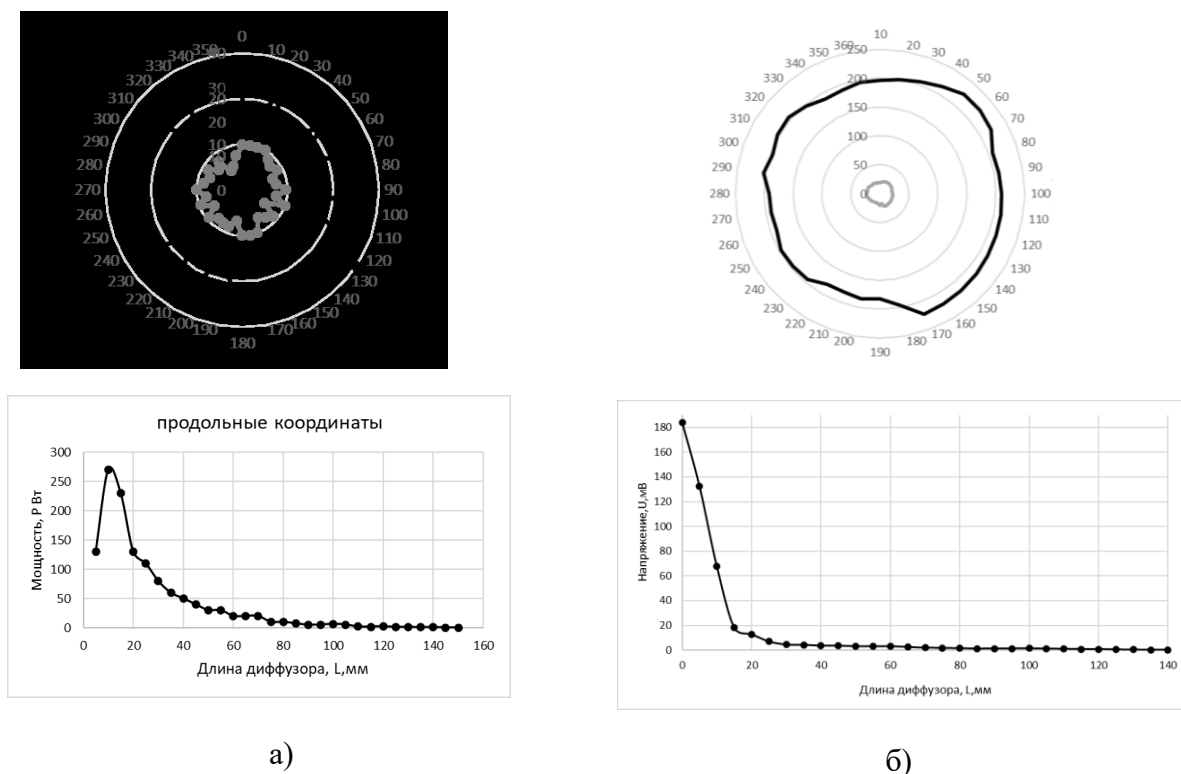


Рис. 4. Результаты: а) модели; б) эксперимент

В физическом эксперименте измерение интенсивности излучения с диффузора, а, следовательно, и усреднение происходит фотоприемником с размером, достаточно большим, чтобы его размеры можно было учесть при постройке модели. На данном этапе численные эксперименты потребовали значительных численных ресурсов, недоступных на данном этапе исследования.

Для устранения полученного несоответствия нужно либо проводить более длительные расчеты, либо использовать волновые методы моделирования распространения луча.

Упрощение, которое может привести к отклонению результатов расчетов от экспериментальных: форма микрополостей (пузырей или каверн) более сложная, по сравнению с моделью.

Библиографический список

1. Тучин В. В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. 2-ое изд., испр. и доп. Москва: Физматлит, 2010. 478 с.
2. Галиулин М. Я., Халдин С. В., Худяков И. С. Анчугова А. Е. Мирошкина О.Н. Особенности лазериндуцированной внутритканевой термотерапии в

- эксперименте и в клинике. Вестник Совета молодых ученых и специалистов Челябинской области № 4 (15) т.3. 2016.
3. Волков В. В., Лощенов В. Б., Конов В. И., Кононенко В. В., Волоконно оптические диффузные облучатели биотканей. Квант. электрон., 2010, т 40, № 8, 746–750 с.
 4. Kashyap R., Blow K.J. Observation of catastrophic selfpropelled selffocusing in optical fibers // Electron. Lett., 1988, vol. 24 (1), pp. 47–48. и Hand D.P., Russell P.St.J. Solitary thermal shock waves and optical damage in optical fibers: the fiber fuse // Opt. Lett., 1988, vol. 13, pp. 767–769.
 5. И. А. Буфетов, Е. М. Дианов, Оптический разряд в волоконных световодах, УФН, 2005, том 175, номер 1, 100–103.
 6. Dianov, E. M. et al. Catastrophic destruction of fluoride and chalcogenide optical fibres. Electron. Lett. 38, 783–784 (2002).

INVESTIGATION AND MODELLING OF SCATTERING STRUCTURES IN FIBER

Nagovitsyna Darya V., Konin Yuri A.

Perm National Research Polytechnic University,
29 Komsomolsky Prospekt, Perm, 614000, Russia, ^ad.nagovitsyna2016@yandex.ru,
^byuri-konin@yandex.ru

This paper presents the creating process of a three-dimensional model of a fiber diffuser. This model is used to study the scattering profile of medical probes, to verify the methods of creating scattering structures and to find the ideal structure for a cylindrical scattering profile. At this stage, a model of a uniform periodic scattering structure was created, and the obtained data were verified with an experiment. It was found that the scattering profile of the real structure coincides with the profile of the model qualitatively. For quantitative evaluation, it is necessary to enter the parameters of real measuring sensors into the model.

Keywords: 3D modelling, scattering, optical discharge, micro-cavities, optical fiber.

О КОНФИГУРАЦИИ УГЛУБЛЕНИЙ ПОД СМАЗКУ В АНТИФРИКЦИОННОЙ ПРОСЛОЙКЕ СФЕРИЧЕСКОЙ ОПОРНОЙ ЧАСТИ МОСТА

Каменских Анна Александровна^а, Носов Юрий Олегович^б

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29,
^аanna_kamenskih@mail.ru, ^бura.4132@yandex.ru

Адамов Анатолий Арсангалеевич

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

В рамках работы проведен сравнительный анализ влияния геометрической конфигурации и положения относительно центра конструкции углублений под смазочный материал в виде кольцевых канавок и сферических лунок на деформационное поведение сферического слоя скольжения опорной части мостового пролета. Рассмотрено 3 варианта фрикционного контакта для пары материалов сталь-полимер с учетом экспериментально полученных фрикционных свойств материала прослойки (модифицированный фторопласт). Смазочный материал рассматривается как мало сжимаемый материал с модулем упругого сжатия 2 ГПа и коэффициентом Пуансона 0,49999, коэффициенты трения пары материалов сталь-смазка рассматриваются в диапазоне 0,001-0,01 (твердые или пастообразные смазки).

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

В настоящее время существует большой перечень актуальных задач в мостостроении, связанных с конструкционными особенностями оформления опорных частей. Целью данной работы является рационализация геометрической конфигурации сферических опорных частей мостов на основе качественных и количественных закономерностей деформационного поведения конструкций. В качестве материала прослойки, сферической опорной части мостов выбран модифицированный фторопласт, математическая модель которого может быть описана с помощью деформационной теории пластичности [1] с учетом больших деформаций.

На рис. 1 показана упрощенная схема сферической опорной части, воспринимающей нагрузки от мостового пролета. Схема включает: 1 и 2 – стальные плиты; 3 – полимерная антифрикционная прослойка. При уточнении модели опорной части в полимерную прослойку 3 вводятся углубления под смазочный материал: кольцевые канавки, сферические лунки и т.д. При этом сравнительный анализ влияния углублений под смазку может быть сделан только в трехмерной постановке, так как ряд конфигураций технологических углублений могут быть учтены только в пространственной геометрии. Основным методом исследования – метод математического моделирования, состоящий в разработке математических моделей и алгоритмов их численной реализации, на основе метода конечных элементов; проведении вычислительных экспериментов по установлению основных качественных и количественных закономерностей на деформационное поведение опорной части моста, с различной геометрической конфигурацией углублений под смазку.

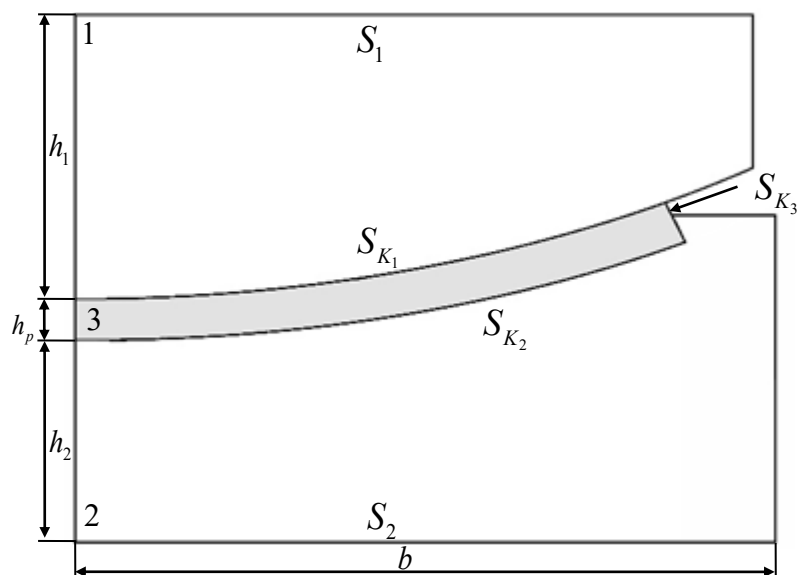


Рис. 1. Упрощенная схема сферической опорной части

В рамках работы рассмотрено влияние разной геометрической конфигурации углублений под смазочный материал на работу сферических опорных частей мостов производства ООО «АльфаТех» г. Пермь, в виде кольцевых канавок (рис. 2а) и сферических вырезов (рис. 2б).

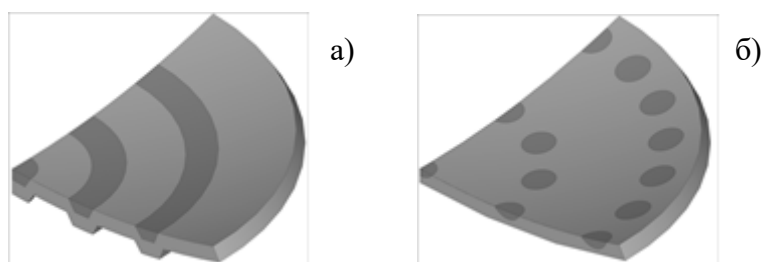


Рис. 2. Сферическая прослойка с углублениями под смазку:
а) кольцевые канавки; б) сферические лунки

Основные геометрические характеристики сферических опорных частей включают в себя: $h_1 = 0,3$ м – максимальная высота сферического сегмента, $h_2 = 0,179$ м – минимальная высота нижней стальной плиты; $b_k = 2b = 0,155$ м – максимальная длина конструкции; $h_p = 4$ мм – толщина слоя скольжения; $h_k = 3$ и $h_k = 2$ мм – глубина кольцевой канавки и сферической лунки под смазочный материал соответственно. Диаметр кольцевых канавок 10,5 мм, диаметр сферической лунки 8 мм. На сферической поверхности расположены три кольцевые канавки, включая центральную канавку, расположенную в центральной части слоя скольжения, и три ряда сферических лунок, включая центральную сферическую лунку, расположенную в центральной части слоя скольжения.

На верхнюю плиту опорной части действует нормативная вертикальная нагрузка 1000 кН, что соответствует $\sim 55,5$ МПа. В рамках исследования фрикционных свойств полимерных материалов получены зависимости коэффициента трения от давления [1]. Таким образом, в рамках численных экспериментов реализуется три варианта фрикционного контакта сталь-полимер с коэффициентами трения: $\mu_1 = 0,04$ – табличное значение; $\mu_2 = 0,0207$ и $\mu_3 = 0,00718$ – экспериментально полученные значения без учета и с учетом смазки по поверхностям сопряжения. Смазка моделируется как мало сжимаемый материал с

модулем упругого сжатия 2 ГПа и коэффициентом Пуассона 0,49999. Коэффициенты трения смазочного материала 0,001 и 0,01. Что соответствует минимальному и максимальному справочному значению коэффициента трения для твердых и пастообразных смазочных материалов соответственно [2].

В рамках сравнительного анализа влияния положения и конфигурации углублений под смазку рассмотрен широкий набор возможных геометрий сферического слоя скольжения опорной части, а также проведен анализ напряженно-деформированного состояния и контактных параметров системы с различной геометрической конфигурацией углублений под смазочный материал. На рисунке 4, для примера, показаны пластические деформации антифрикционной прослойки с разными углублениями под смазку при одном из вариантов их положения относительно центра конструкции при трении сталь-полимер 0,04 (табличное значение) и сталь-смазка 0,001 (минимальное значение трения, справочное).

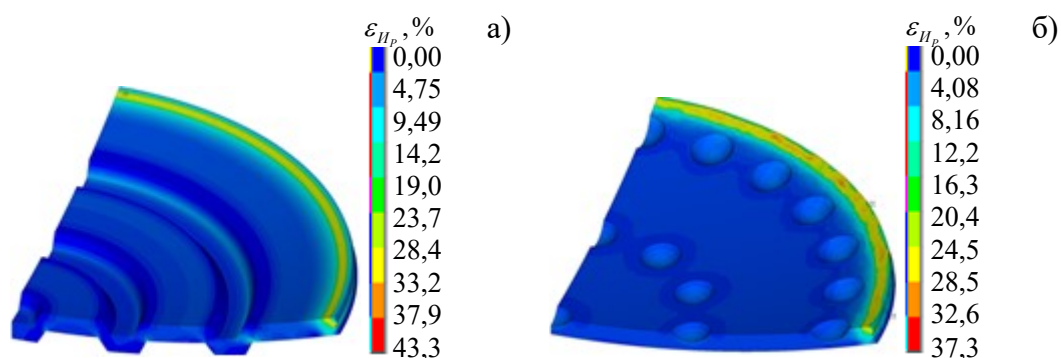


Рис. 3. Пластические деформации полимерной прослойки с углублениями под смазку: а) кольцевые канавки; б) сферические лунки

У прослойки с кольцевыми канавками максимальные пластические деформации наблюдаются вблизи относительной свободной от контакта поверхности торца антифрикционной прослойки, на поверхностях сопряжения прослойки и нижней стальной плиты (концентраторы), а так же в вырезах под смазочный материал вблизи верхнего края зоны сопряжения объема полимерного материала и объема смазки. В прослойках со сферическими углублениями под смазку максимальные пластические деформации наблюдаются вблизи торца слоя скольжения и в углублениях под смазочный материал.

Из-за геометрической особенности канавок в среднем слое антифрикционного материала возникают пластические деформации в диапазоне 3-10%, что не наблюдается у другого варианта углубления. Максимальный уровень интенсивности пластических деформаций в конструкции со сферическими углублениями под смазку ниже, чем во втором варианте конфигурации технологических углублений.

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. *Лужнов Ю.М., Калачев Ю.Н., Александров В.Д., Морщилов М.В.* Смазка и смазочные материалы (трибологические аспекты смазки) – М.:МАДИ – 2019 – 40 с.

ON THE CONFIGURATION OF HOLES FOR LUBRICATION IN THE ANTIFRICTION INTERLAYER OF THE SPHERICAL SUPPORT OF THE BRIDGE

Kamenskikh Anna A.^a, Nosov Yuriy O.^b

Perm National Research Polytechnic University,
614000, Russia, Perm, Komsomolsky Av. 29, ^aanna_kamenskikh@email.ru, ^bura.4132@yandex.ru

Adamov Anatoly A.

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

The influence comparative analysis of the geometric configuration and position relative to the structure center of grooves for lubricant in the form of annular grooves and spherical holes on the deformation behavior of the spherical sliding layer bearing of the bridge span was carried out within the framework of the work. The 3 variants of frictional contact for a pair of materials steel-polymer taking into account the experimentally obtained frictional properties of the interlayer material (modified PTFE) are considered. A lubricant is considered as a slightly compressible material with a elastic compression modulus of 2 GPa and Poisson's ratio of 0.49999, the friction coefficients of a steel-lubricant pair are considered in the range of 0.001-0.01 (solid or pasty lubricants).

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

СОЗДАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ОПОРНОЙ ЧАСТИ МОСТОВОГО ПРОЛЕТА

Каменских Анна Александровна^а, Панькова Анастасия Петровна^б

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, ^аanna_kamenskih@mail.ru,
^бanastasia_pankova@mail.ru

В данной работе представлен процесс создания трехмерной модели сферической опорной части мостовых конструкций с «умным» моделированием конечно-элементной сетки. «Умное» моделирование реализуется путем контактного склеивания дополнительно введенных контактных поверхностей без трения, для разделения стальных элементов конструкции с целью создания зон с одинаковой по характерным размерам конечно-элементной сеткой вблизи областей контакта. На первом этапе реализации выполнено моделирование тестовой задачи, необходимой для настройки параметров зон сопряжения в рамках контактной склейки. На втором этапе выполняется анализ влияния рационального моделирования на результаты деформационного поведения сферической опорной части мостовых сооружений в трехмерной постановке. Было выявлено, что при использовании нового вида конечно-элементной сетки в численном эксперименте получены более качественные результаты (процент расхождения с осесимметричной задачей составляет ~1,6 %, более равномерный характер распределения параметров контакта).

Ключевые слова: 3D-моделирование, сферическая опорная часть, модифицированный фторопласт, слой скольжения, контактные параметры, конечно-элементной сетки.

При численном моделировании реальных объектов исследования исследователи и инженеры часто сталкиваются с рядом трудностей: сложная пространственная геометрия конструкции или системы, значительное количество материалов с разнообразными механическими свойствами, разный характер сопряжения элементов и т.д. Часто модели реальных конструкций и систем получаются достаточно сложными и тяжелыми с точки зрения вычислительных ресурсов, даже для кластерной и серверной вычислительной техники. Такие модели реализуются на многопроцессорных компьютерах с большим числом ядер, оперативной и внутренней памяти, но при этом численная реализация задач может занимать недели или даже месяцы. Большие временные периоды, необходимые для проведения 1 или серии численных экспериментов, часто невозможны с современным компьютерным инжинирингом и цифровым производством, которые требуют быстрое и качественное решение задач любой сложности. Таким образом, для реализации задач со сложными пространственной геометрией, характером сопряжения поверхностей и нелинейным поведением материалов элементов конструкции требуется подбор эффективных численных процедур, в том числе и рационализация конфигурации модели и конечно-элементного аналога.

В данной работе рассматривается относительно сложная конструкция – сферическая опорная часть. Сложность конструкции состоит в пространственной геометрии, включающей более 2-х поверхностей фрикционного контактного взаимодействия с заранее неизвестной площадкой контакта и характером распределения зон контактных состояний (прилипание,

проскальзывание, отлипание), а также сложным нелинейным поведением материалов слоев скольжения. Ранее на осесимметричной модели был проведен анализ влияния толщины слоя скольжения и его физико-механических характеристик и трибологических свойств на деформационное поведение сферической опорной части [1]. При переходе к трехмерному моделированию было выявлено, что результаты численного моделирования при выбранном конечно-элементном аналоге обладают значительными отличиями от осесимметричного решения задачи. Так же наблюдались нелинейности в характере изменения параметров зоны контакта, что было связано с конечно-элементной сеткой. Решение задачи выполнялось на серверной платформе Soc-1366 SuperMicro 4U 7046T-H6R (два шестиядерных процессора Soc-1366 Intel Xeon X5650 и 60 Гб оперативной памяти), при этом вычислительный ресурс машину не позволил выполнить сгущение сетки вблизи областей контакта без рационализации модели исследуемого объекта. Сгущение сетки без изменения модели приводило к значительному увеличению числа узловых неизвестных. В рамках работы было принято решение рационализировать модель с помощью введение дополнительной контактной склейки без трения, для введения «умного» моделирования конечно-элементной сетки. Контактная склейка необходима для выделения незначительных по толщине областей вблизи зон контакта с целью сгущения сетки, только в данных областях. Для реализации контактной склейки необходимо настроить параметры контактного взаимодействия так, чтобы реализовывались следующего вида условия на поверхностях сопряжения стальных элементов:

$$u_n^1 = u_n^2, u_\tau^1 = u_\tau^2, \sigma_n^1 \neq \sigma_n^2, \sigma_{n\tau}^1 \neq \sigma_{n\tau}^2, \quad (1)$$

где \vec{u} – вектор перемещений контактной границы, σ_n – напряжение по нормали к контактной границе, $\sigma_{n\tau}$ – касательные напряжения на контактной границе, индексы 1 и 2 – соответствуют двум поверхностям сопряжения.

В рамках первого этапа рационализации конечно-элементной модели опорной части была реализована тестовая задача о контактном деформировании системы двух стальных штампов взаимодействующих с полимерной прослойкой. Вблизи зоны сопряжения стальных плит с прослойкой выделен объем, в котором сгущаются элементы, при этом для того чтобы избежать сгущения сетки в основном объеме материал без потери качества конечно элементного взаимодействия с прослойкой выделенный объем стального штампа сопрягается с оставшейся частью при помощи контактной склейки материалов (1). Модель тестовой задачи представлена на рис. 1. В качестве материала слоя скольжения рассматривается модифицированный фторопласт [2].

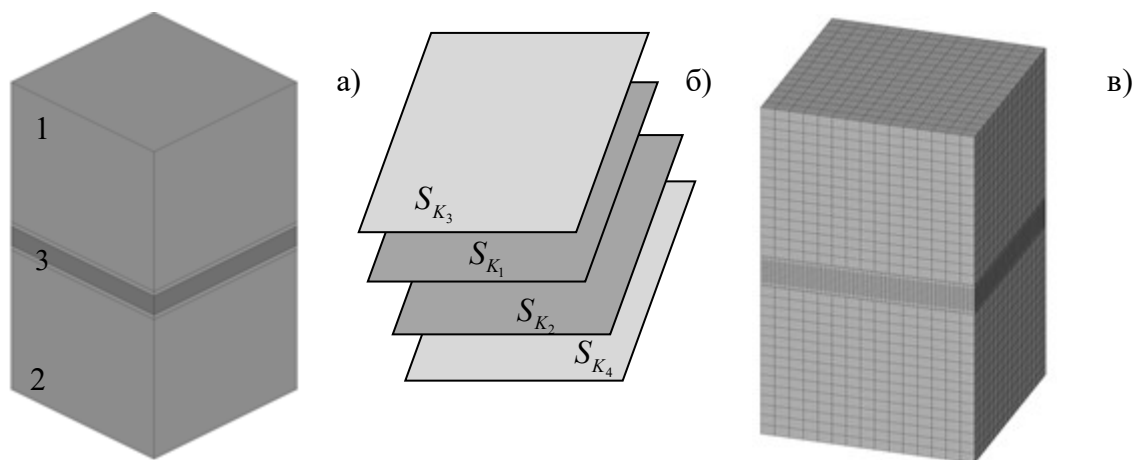


Рис. 1. Тестовая задача: а) модель; б) плоскости контакта; в) конечно-элементная сетка

Расчетная схема задачи включает: 1 и 2 – стальные плиты; 3 – полимерная упругопластическая прослойка. В рамках реализации рациональной конечно-элементной сетки введены две дополнительные поверхности сопряжения S_{K_3} и S_{K_4} , на которых реализована контактная склейка (1) элементов стальных плит. Стальные плиты разбиты на два объема вблизи зоны сопряжения с полимерной прослойкой, разбиение и введение контактной склейки необходимо для сгущения элементов в областях контакта с антифрикционным слоем скольжения. Результаты решения тестовой задачи по параметрам контакта (рис. 2).

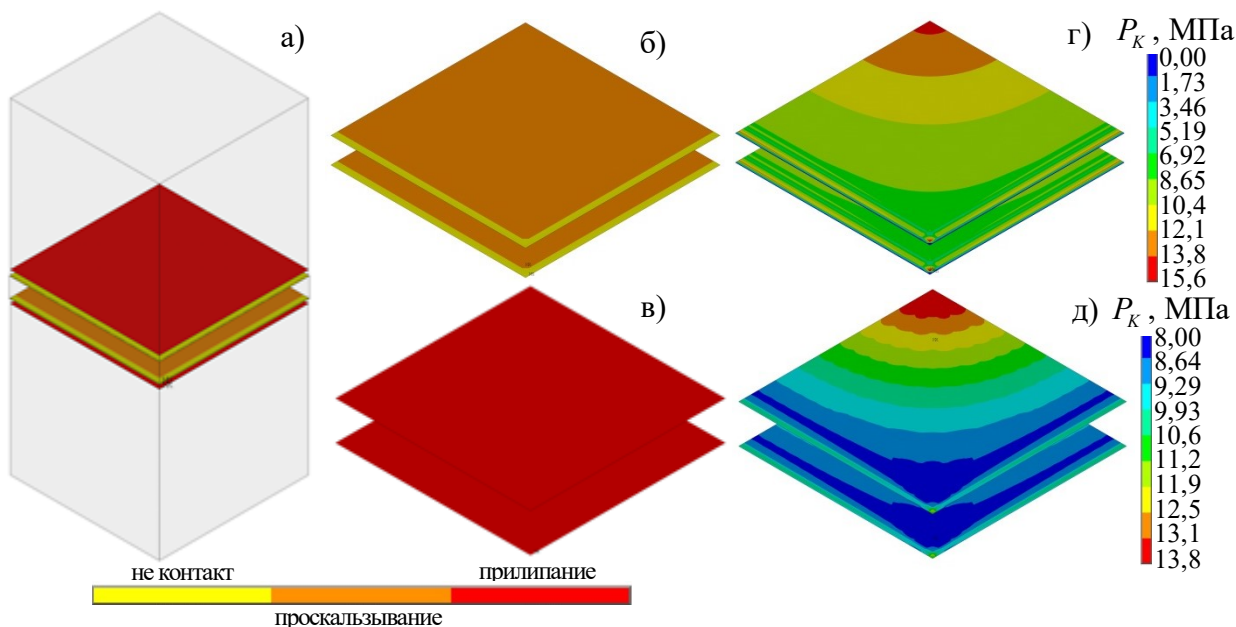


Рис. 2. Параметры контакта: а-в – статусы контактных состояний; г-д – контактное давление; б и г – параметры $S_{K_1} - S_{K_2}$; в и д – параметры $S_{K_3} - S_{K_4}$

Можно отметить, что при реализации граничных условий типа (1) на поверхностях сопряжения $S_{K_3} - S_{K_4}$ мы наблюдаем полное прилипание контактных поверхностей без трения, что соответствует контактной склейке материалов и позволяет рационализировать конечно-элементную сетку без увеличения нагрузки на вычислительные системы.

После подбора настроек зон сопряжения между объемами стальных элементов конструкции в рамках контактной склейки схема моделирования конечно-элементной сетки была выполнена на параметризированной модели сферической опорной части (рис. 3).

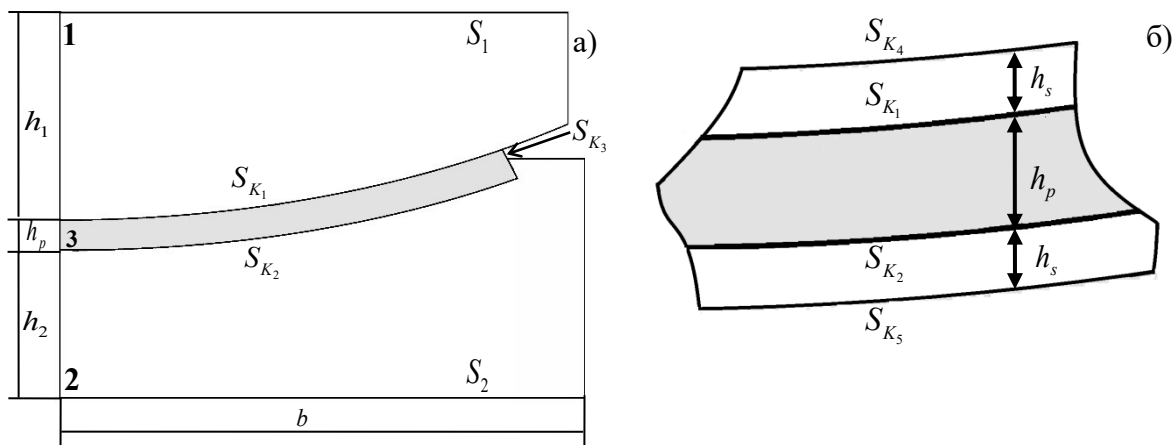


Рис. 3. Опорная часть: а) модель без дополнительных зон контакта; б) фрагмент расчетной схемы с дополнительными зонами контакта

Вблизи антифрикционного слоя скольжения 3 выделены объемы стальных элементов, необходимые для сгущения сетки вблизи области контакта без сгущения сетки на основных объемах стальных плит 1-2.

Математическая постановка данной модели была ранее описана в [3], и дополняется учетом больших деформаций в объеме материала слоя скольжения. В задаче рассматривается три варианта трибологических свойств антифрикционного материала: справочное значение – $\mu_1 = 0,04$, экспериментальные значения коэффициента трения без учета ($\mu_2 = 0,0207$) и с учетом ($\mu_3 = 0,00718$) смазки по сопрягаемым поверхностям.

При сравнительном анализе решения задачи о деформировании опорной части было выявлено, что погрешность решения, относительно осесимметричной задачи, для нерационализированной модели составляет приблизительно 2,64 %, тогда как для рационализированной модели эта погрешность составляет приблизительно 1,6 %. Так же для рационализированной модели контактные параметры распределяются более равномерно.

Библиографический список

1. *Каменских А.А., Панькова А.П.* Фрикционный контакт элементов опорных частей мостов при разной толщине и материалах сферического слоя скольжения // Электрофизические методы обработки в современной промышленности. Специальный выпуск: аддитивные технологии. – 2021. – С. 330-333
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.
3. *Каменских А.А., Труфанов Н.А.* Численный анализ напряженного состояния сферического контактного узла с прослойкой из антифрикционного материала // Вычислительная механика сплошных сред. 2013. Т. 6. № 1. С. 54-61.

CREATING A RATIONAL FINITE ELEMENT MODEL OF THE BRIDGE SPAN BEARING

Kamenskih Anna A.^a, Pankova Anastasiya P.^b

Perm National Research Polytechnic University,
Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614000, ^aanna_kamenskih@mail.ru,
^banastasia_pankova@mail.ru

This paper presents the creating process a three-dimensional spherical bearing model of bridge structures with “smart” modeling of a finite element mesh. "Smart" modeling is realized by contact bonding of the input contact surfaces without friction, to separate the construction steel elements with the concept of creating zones with the finite element mesh same characteristic size near the contact area. At the first stage, the test problem is simulated. At the second stage, hydraulic modeling of the bridge structures spherical support part is performed in a three-dimensional setting. It was found that when using a new type of finite element mesh, numerically in the experiment, better results were obtained (the percentage of discrepancy with axisymmetric verification is ~ 1.6%, a more uniform distribution of contact parameters).

Keywords: 3D-modeling, spherical bearing modified PTFE, sliding layer, contact parameters, finite element mesh.

О ВЛИЯНИИ ХАРАКТЕРА КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МНОГОСЛОЙНОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ

Каменских Анна Александровна, Пащенко Максим Михайлович

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

В рамках работы выполнено численное моделирование деформационного поведения многослойного штампа с центральной частью, выполненной из кварца и двумя полимерными защитными покрытиями в рамках контактного взаимодействия. Рассмотрено три варианта реализации контактного взаимодействия по зонам сопряжения штампа с алюминиевым полупространством и между слоями индентора. Выполнено сравнение деформирования многослойной конструкции с моделью без учета защитно-упрочняющего полимерного покрытия. Установлено, что при учете защитного покрытия наблюдается снижения максимального уровня параметров зоны контакта и деформационных характеристик, а фрикционное контактное взаимодействие оказывает влияние на деформационные характеристики и параметры контактного взаимодействия.

Ключевые слова: оптическое волокно, защитно-упрочняющие покрытия, многослойная конструкция, полимер, контакт, трение.

В настоящий момент представляет интерес влияние параметра контактного взаимодействия на деформационные и оптические характеристики оптических волокон, в том числе и с учетом многослойных защитных полимерных покрытий [1-2].

В рамках работы выполнено исследования влияния характера контактного взаимодействия между элементами системы полупространство-индентор (рис. 1).

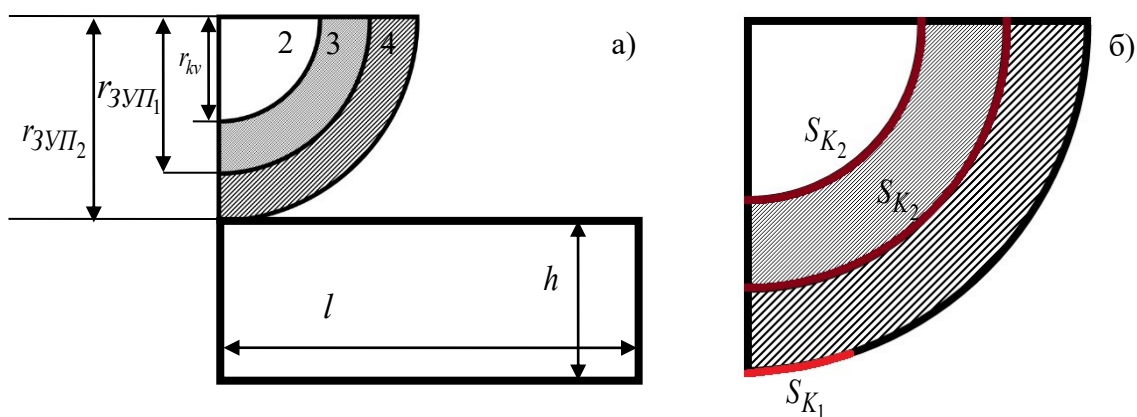


Рис. 1. Тестовая задача: а) расчетная схема; б) многослойный индентор

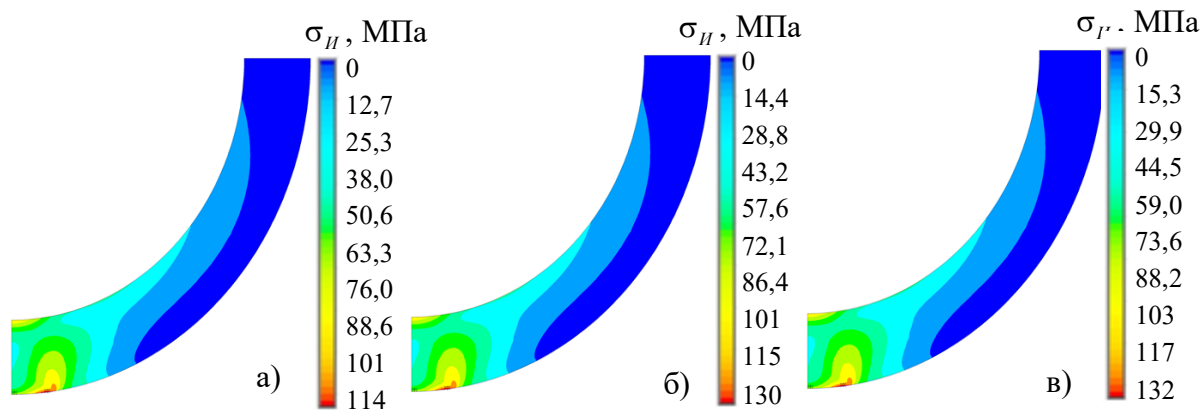
Рассматривается тестовая задача похожая по геометрической конфигурации на задачу Герца. Расчетная схема включает в себя многослойный штамп: кварцевое основание, покрытое двумя слоями защитного полимерного покрытия, а так же алюминиевое

полупространство. Реализуется три постановки задачи контактного взаимодействия [3]: контакт только на поверхности сопряжения штампа и полупространства с учетом и без учета трения, контакт на поверхности сопряжения штампа и полупространства с учетом трения и контактная склейка между слоями индентора. В качестве материалов многослойного покрытия рассмотрены материалы волоконно-оптических волноводов.

Ранее было выполнено моделирование классической задачи Герца в прикладном программном пакете ANSYS для трех пар материалов кварц – алюминий, первичное защитное покрытие – алюминий и вторичное защитное покрытие – алюминий. При сравнении с аналитическим решением было выбрано рациональное конечно-элементное разбиение со сгущением элементов вблизи области сопряжения полупространства и штампа: характерный размер конечных элементов на удалении от области контакта $r_0/40$, вблизи области контакта $r_0/400$. Контактное взаимодействие системы с многослойным штампом моделируется с такими же параметрами конечно-элементной сетки, как у классической задачи Герца.

Расчетная схема задачи включают полупространство (1) $167 \times 83,5$ мкм и сферический штамп (2): радиус внутреннего слоя 40 мкм, радиус первичного и вторичного защитного покрытия 65 и 83,5 мкм соответственно. Моделируется только часть полупространства, отброшенные части заменяются условиями симметрии. Многослойный сферический штамп выполнен из трех материалов: внутренний слой – кварц ($E_{kv} = 72000$ МПа и $\nu_{kv} = 0,17$), промежуточный и внешний слой изготовлены из полимерных материалов отличающихся физико-механическими свойствами ($E_{звп1} = 1$ и $E_{звп2} = 2000$ МПа, $\nu_{звп1} = 0,495$ и $\nu_{звп2} = 0,35$ – справочные (табличные) значения).

В рамках исследования выполнена серия численных экспериментов о деформировании системы нагрузкой от 0,005 до 0,05 Н. Оценка влияния контактных граничных условий на деформационное поведение системы и параметры контактного взаимодействия. В качестве примера, на рисунке 2 показаны поля распределения интенсивности напряжений во внешнем (вторичном) слое защитного покрытия.



**Рис. 2. Интенсивность напряжений в материале вторичного защитного покрытия:
а–в – разные настройки контактного взаимодействия зон сопряжения**

Можно отметить, что характер распределения интенсивности напряжений и деформаций имеет малую зависимость от характера контактного взаимодействия, максимальная интенсивность напряжений наблюдается вблизи зоны сопряжения штампа и полупространства, максимальная интенсивность деформаций наблюдается в первичном защитном покрытии.

Так же было исследовано влияния контактных граничных условий на параметры зон сопряжения (рис. 3): характер распределения контактного давления и контактного

касательного напряжения, а также зависимости максимального уровня параметров от нагрузки.

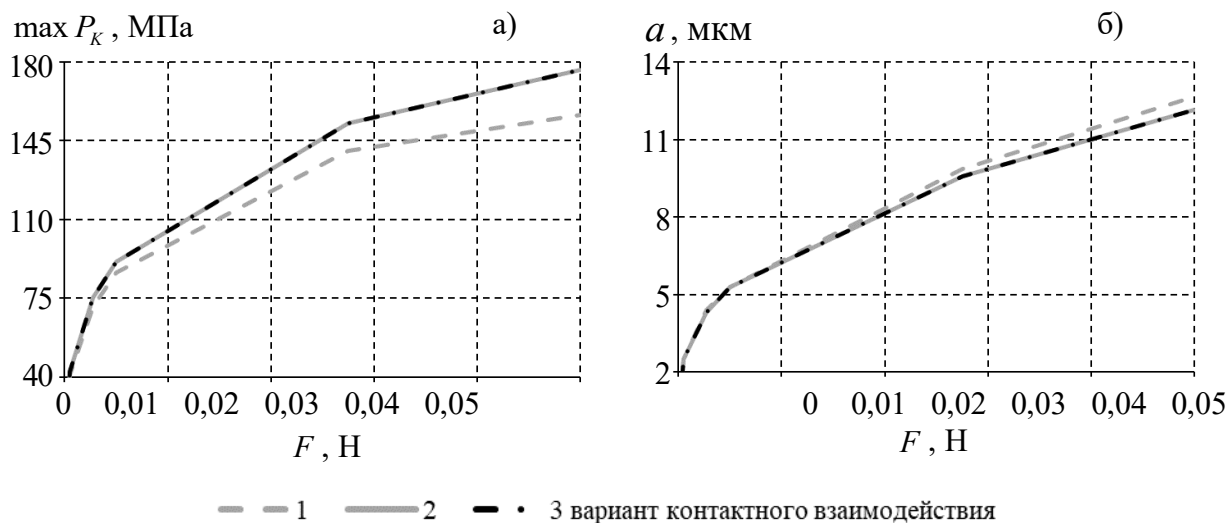


Рис. 3. Параметры области контакта в зависимости от нагрузки: а) контактное давление; б) радиус области контакта

Введение в систему трения между сферическим индентором и полупространством оказывает значительное влияние – увеличивается уровень максимального контактного давления при снижении радиуса контакта. При этом учет контактной склейки между объемами материалов сферического индентора не оказывает влияния на параметры зоны сопряжения индентор-полупространство.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Пермского края в рамках научного проекта № 20-48-596009.

Библиографический список

1. Лесникова Ю.И., Сметанников О.Ю., Труфанов А.Н. Численное моделирование контактного термосилового воздействия на оптическое волокно в полимерном защитно-упрочняющем покрытии // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 2. С. 28-31.
2. Каменских А.А., Пащенко М.М. Исследование влияния характера контактного взаимодействия штампа с многослойным защитно-упрочняющим покрытием на деформационные характеристики системы штамп-полупространство // Научно-технический вестник Поволжья. 2021. №8. С. 59-62.

**ON THE INFLUENCE OF THE CONTACT INTERACTION CHARACTER
OF MULTILAYER MECHANICAL SYSTEM ELEMENTS ON THE STRUCTURE
DEFORMATION BEHAVIOR**

Kamenskikh Anna A., Pashchenko Maksim M.

Perm National Research Polytechnic University,
614000, Russia, Perm, Komsomolsky Av. 29, anna_kamenskih@email.ru

Numerical modeling of the deformation behavior of a multilayer die with a central part made of quartz and two polymer protective coatings within the framework of contact interaction was performed within the framework of this work. Three variants of the implementation of contact interaction along the conjugation zones of the stamp with the aluminum half-space and between the layers of the indenter are considered. Comparison of the multilayer structure deformation with the model without taking into account the protective-hardening polymer coating is performed. It was found that when the protective coating is taken into account a decrease in the maximum level of the contact zone parameters and deformation characteristics is observed, and the frictional contact interaction affects the deformation characteristics and parameters of the contact interaction.

Keywords: optical fiber, protective and hardening coatings, multilayer construction, polymer, contact, friction.

БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПЯСТНОГО КАНАЛА

Пешин Савелий Евгеньевич

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

В данной работе рассматривается моделирование части запястного канала, который проходит внутри руки в районе кисти. Область является интересной в связи с так называемым карпальным туннельным синдромом. Заболевание чаще всего возникает у людей в связи с профессиональной деятельностью в наиболее трудоспособном возрасте 30-50 лет. Например, длительная работа за компьютером с необходимостью набора текста на клавиатуре вызывает карпальный туннельный синдром. Внутри запястного канала находится срединный нерв, который проводит и отводит нервный импульс от части кисти. При карпальном туннельном синдроме происходит компрессия (пережатие) срединного нерва. В таком случае человек испытывает дискомфорт в иннервируемой области. Если компрессия будет продолжаться или повторяться регулярно, то возникнет гиперрецепция срединного нерва, а в дальнейшем возможна потеря двигательных и чувствительных функций, что негативно скажется на качестве жизни населения. Определение напряжённо-деформированного состояния срединного нерва может помочь в диагностике и лечении карпального туннельного синдрома. В работе это выполнено с помощью биомеханического моделирования.

Ключевые слова: карпальный туннель, конечно-элементное моделирование, биомеханика

Синдром запястного канала – это неврологическое заболевание, вызванное сдавливанием срединного нерва, которое приводит к потере чувствительных и двигательных функций кисти [1]. Известно, что нервные клетки не делятся митозом и затруднительно поддаются восстановлению. Тогда однажды передавленный срединный нерв может привести к потере профессиональных качеств человека и как следствие смене рода деятельности. В 73% случаев ночные боли в пальцах нарушают сон и ухудшают качество жизни. В результате требуется хирургическое вмешательство с длительным процессом восстановления [2]. При этом, вовремя начатое лечение способно предотвратить такие осложнения, и поможет восстановить функциональную полноценность руки. На данный момент не существует методики определения напряжений в срединном нерве у живого человека. С помощью междисциплинарного подхода со стороны биомеханики и медицины — это возможно сделать. Создание обоснованной математической модели запястного канала, включающей в себя мягкие и твёрдые ткани, даст возможность расчёта напряжённо-деформированного состояния всей системы в целом и срединного нерва в частности. Такая модель позволит определить факторы, влияющие на повышенное давление в срединном нерве и предсказать возможные осложнения для конкретного человека.

Цель работы заключается в построении биомеханической модели запястного канала и определении напряжённо-деформированного состояния системы. Через запястный канал проходят мягкие ткани, такие как: сухожилия и срединный нерв и находятся они в субсиновиальной соединительной ткани. Сам запястный канал находится в области между связкой и костями (Рис.1).

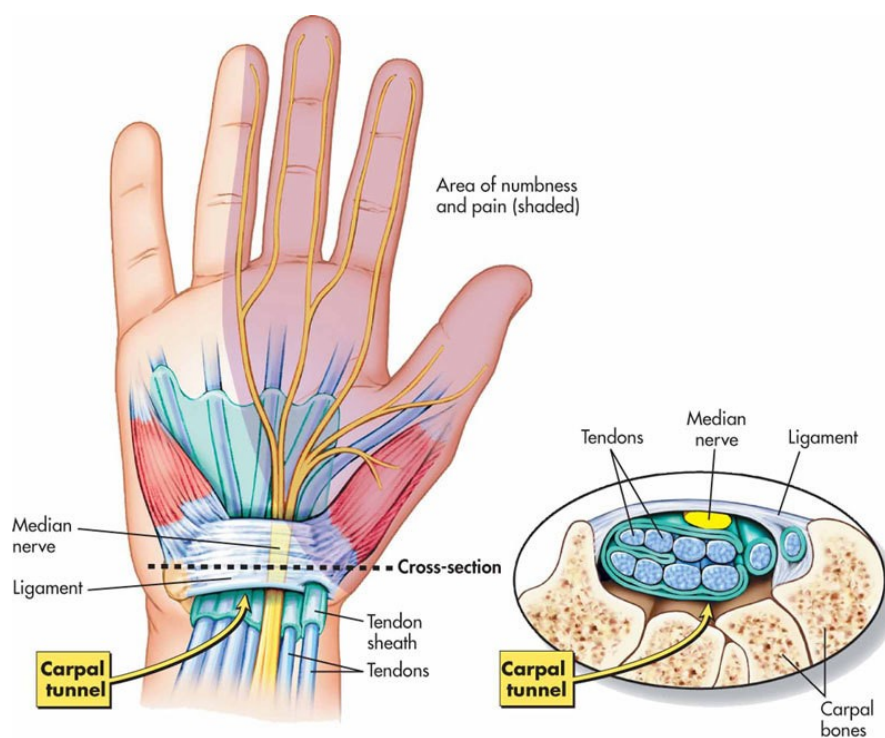


Рис. 1. Область запястного канала

Таблица 1. Модели и коэффициенты

| Объект | Модель | Коэффициенты | Источник |
|--------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--|
| Связка | Гиперупругости Огдена | $\mu = 0,1$ МПа $\alpha = 16,5$ | <i>E.K. Main et al. / Journal of Biomechanics 45 (2012) 1180–1185 [5]</i> |
| Кость | Упругости | $E = 10000$ МПа $\nu = 0,3$ | <i>X. Guo et al. / Medical Engineering & Physics 31 (2009) 188–194 [6]</i> |
| Сухожилия | Гиперупругости Огдена | $\mu = 37600$ Па $\alpha = 8,9$ | <i>E.K Main et al. / Journal of Biomechanics 44 (2011) 863–868 [5]</i> |
| Нерв | Гиперупругости Огдена | $\mu = 12900$ Па $\alpha = 6,5$ | <i>E.K Main et al. / Journal of Biomechanics 44 (2011) 863–868 [5]</i> |
| Субсиновиальная соединительная ткань | Гиперупругости Огдена | $\mu = 12500$ Па $\alpha = 4,5$ | <i>Y. Matsuura et al. / Journal of Biomechanics 49 (2016) 119–122 [7]</i> |

Для построения биомеханической модели необходимо выбрать модели, которые будут описывать поведение тканей запястного канала. На данный момент в литературе для описания поведения мягких тканей человека часто используется модель Огдена [3]. Таким образом, задача определения НДС системы становится нелинейной, то есть напряжения и деформации зависят друг от друга нелинейно [4]. Для решения такой задачи необходимо использовать потенциал энергии деформации W , который выражается через главные относительные удлинения и зависит от двух констант материала μ , α . Костная ткань часто моделируется с помощью закона Гука, где напряжения и деформации зависят друг от друга линейно и для описания материала необходимо два параметра E и ν . Значения констант материала взяты из литературы Табл. 1.

Для расчётов была создана тестовая модель запястного канала Рис. 2 и к ней была приложена сжимающая распределенная нагрузка 35 кПа. Фиолетовым светом показаны закрепления модели, а красным внешняя нагрузка Рис. 2. Закрепления обусловлены анатомическими особенностями. Результаты расчётов приведены в Табл. 2.

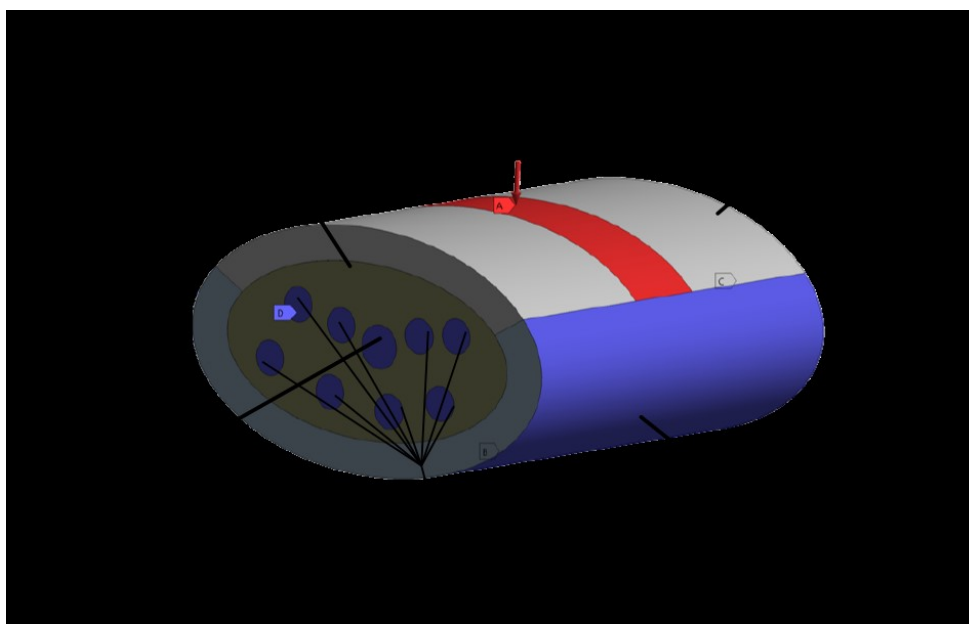


Рис. 2. Тестовая модель. Граничные условия и местоположение тканей

В реальности на напряжённо-деформированное состояние срединного нерва влияет множество различных факторов, которые необходимо исследовать. Например, натяжение сухожилий, местоположение сухожилий и срединного нерва, гиперупругие свойства связки и т.д. В данной работе была рассмотрена тестовая задача для определения НДС срединного нерва. В дальнейшем такая модель будет усложняться и в неё будут входить другие факторы, влияющие на результат. В данном случае видно, что большую часть нагрузки 95% взяли на себя окружающие нерв мягкие ткани – сухожилия, связка и субсиновиальная соединительная ткань.

Таблица 2. Результаты расчётов

| Объект | Полные перемещения | Напряжения по Мизесу |
|----------------|--------------------|----------------------|
| Срединный нерв | 0,5 мм | 1756 Па |

Библиографический список

1. Байтингер А.В., Черданцев Д. В. Синдром карпального канала: современное состояние вопроса. Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. 2018. № 65(2). С. 12-18
2. Яриков А. В., Туткин А. В., Бояришинов А. А., Фраерман А. П., Перльмуттер О. А. Карпальный туннельный синдром: клиника, диагностика и современные подходы к лечению (краткий обзор). Медицинский альманах. 2020. № 64(3). С. 27-35.
3. Ogden R.W. Large deformation isotropic elasticity – on the correlation of theory and experiment for incompressible rubberlike solids, proceedings of the royal society of London // Series A. Mathematical and Physical Sciences. – 1972. – Vol. 326, № 1567. – P. 565-584
4. Лурье А. И. Неленейная теория упругости. – М: Наука. 1980. – 512 С.
5. E.K Main et al. / Journal of Biomechanics 44 (2011) 863-868

6. X. Guo et al. / Medical Engineering & Physics 31 (2009) 188-194
7. Y. Matsuura et al. / Journal of Biomechanics 49 (2016) 119-122

BIOMECHANICAL CARPAL TUNNEL MODELING

Peshin Savelii E.

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

Abstract. This paper deals with the modeling of the part of the carpal tunnel, which runs inside the hand in the area of the hand. The area is interesting due to the so-called carpal tunnel syndrome. The disease most often occurs in people in connection with professional activities in the most working age of 30-50 years. For example, prolonged work at the computer with the need to type on the keyboard causes carpal tunnel syndrome. Inside the carpal tunnel is the median nerve, which conducts and removes nerve impulses from part of the hand. In carpal tunnel syndrome, compression (clamping) of the median nerve occurs. In this case, the person experiences discomfort in the innervated area. If the compression continues or is repeated regularly, then hyperreception of the median nerve will occur, and in the future, loss of motor and sensory functions is possible, which will negatively affect the quality of life of the population. Determination of the stress-strain state of the median nerve can help in the diagnosis and treatment of carpal tunnel syndrome. In this work, this was done using biomechanical modeling.

Keywords: carpal tunnel, finite element modeling, biomechanics.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ПАРАМЕТРЫ ЗОН СОПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СФЕРИЧЕСКИХ ОПОРНЫХ ЧАСТЕЙ С РАЗНЫМ МЕСТОПОЛОЖЕНИЕМ СЛОЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Струкова Вероника Ивановна, Каменских Анна Александровна

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

Адамов Анатолий Арсангалеевич

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

В рамках работы выполнен численный анализ влияния фрикционных свойств материалов антифрикционной полимерной прослойки сферических опорных частей на изменение параметров зон контактного взаимодействия. Выполнено сравнение деформационного поведения двух вариантов сферических опорных частей с разным местоположением и конфигурацией сферического слоя скольжения. Установлено, что при использовании экспериментальных фрикционных свойств полимеров наблюдается отлипание контактных поверхностей в зоне сопряжения, по которой возможен поворот сферического сегмента, во всех рассмотренных вариантах геометрической конфигурации конструкции максимально на 4,6 % от первоначальной площади контакта.

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

В Российской Федерации в рамках национального проекта «Безопасные и качественные автомобильные дороги» рассматривается ряд актуальных вопросов связанных с проектированием новых, а так же мониторингом и восстановлением ранее созданных элементов дорожной сети, направленных на создание современных безопасных транспортных систем в регионах страны. К ответственным узлам транспортных систем, требующим постоянного мониторинга и отслеживания технического состояния, относятся мостовые сооружения и их элементы, воспринимающие нагрузки от мостового пролета. К несущим конструкциям мостовых сооружений относятся: деформационные швы, пролетные строения мостов, подъемные сооружения разводных мостов, опорные части и т.д. Актуальным направлением исследования является как влияние свойств материалов опорных частей, так и геометрической конфигурации их элементов на работоспособность узла.

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 (рис. 1): с антифрикционной прослойкой, расположенной в нижней стальной плите – модель А; с антифрикционной прослойкой, нанесенной на сферический сегмент – модель Б.

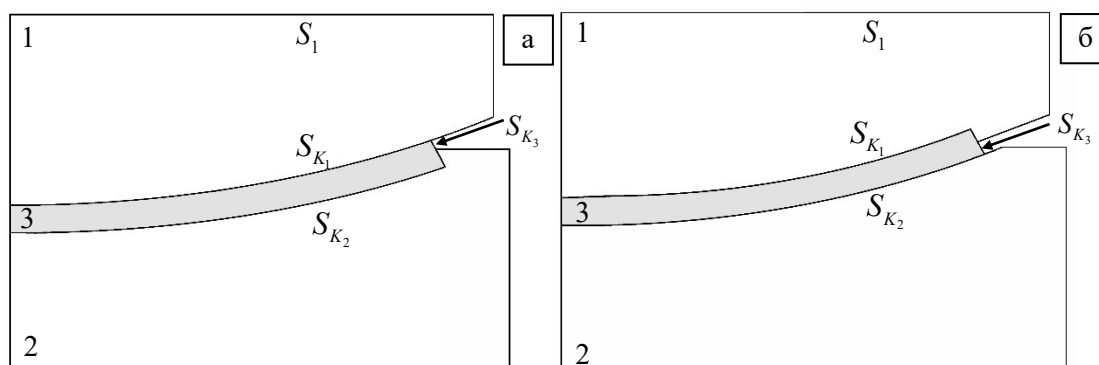


Рис. 1. Расчетные схемы сферических опорных частей: а) модель А; б) модель Б

Математическая постановка и геометрические характеристики сферических опорных частей отражены в [1]. Деформирование конструкций реализуется в рамках осесимметричной постановки при нормативной вертикальной нагрузке действующей на шаровой сегмент опорной части 1000 кН. Рассмотрено три варианта материалов, из которых может быть изготовлена сферическая прослойка: сверхвысокомолекулярный полиэтилен, радиационно-модифицированный фторопласт и композиционный материал с матрицей из фторопласта-4 и сферическими бронзовыми включениями. Физико-механические и фрикционные свойства материалов слоя скольжения получены экспериментально [2]. В рамках предварительного исследования деформационного поведения конструкций опорных частей с разным местоположением слоя скольжения было установлено появление зоны отлипания на поверхности сопряжения, по которой возможен поворот сферического сегмента (S_{K_1}, S_{K_2} модель А и Б соответственно), раскрытие контакта наблюдается в модели Б при стандартной угле 30° . Поэтому было исследовано влияние угла наклона торца слоя скольжения S_{K_3} на работоспособность конструкций, рассматривались углы от 0 до 45° . Установлено, что при углах наклона торца антифрикционной прослойки 25 и 40° для модели А и 0° для модели Б наблюдается более благоприятное напряженно-деформированное состояние конструкций: нет зон расхождения на поверхностях сопряжения, равномерное распределение параметров контакта по поверхностям, меньшее деформирование профиля торца слоя скольжения. Исследования проводились при табличном коэффициенте трения сталь-полимер $0,04$. При анализе влияния фрикционных свойств материалов рассматриваются конфигурации опорных частей со стандартным углом наклона торца и углами 25 и 40° для модели А и 0° для модели Б. Коэффициенты трения варьируются в рамках модели пластического деформирования полимерного слоя скольжения и включают справочное табличное значение μ_1 и экспериментальные коэффициенты трения μ_2 и μ_3 соответствующие двум вариантам учета смазочного материала в модели (без учета и с учетом смазки).

На рис. 2 показано распределение параметров области контакта, по которой возможен поворот сферического сегмента опорной части при стандартном угле наклона торца на примере материала антифрикционного слоя скольжения – модифицированный фторопласт.

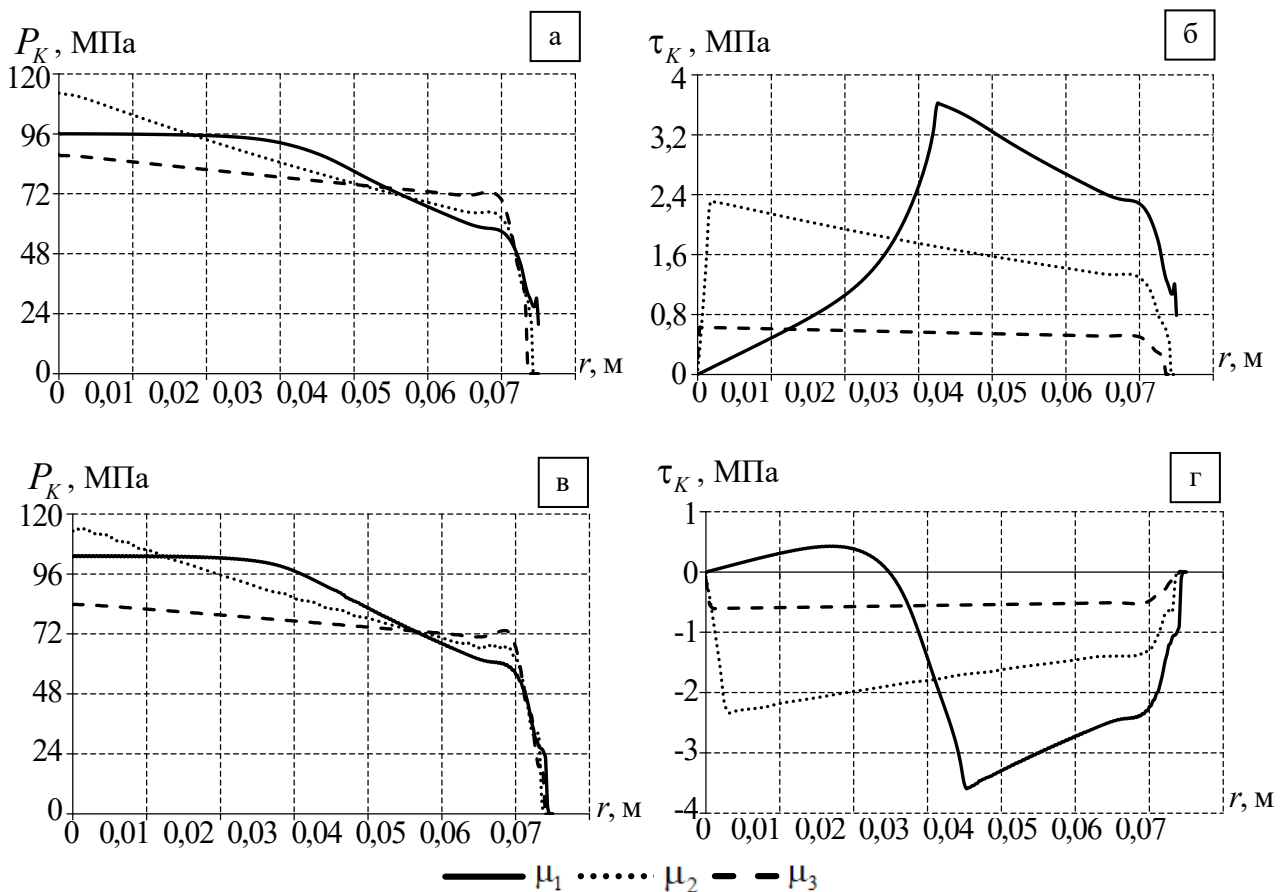


Рис. 2. Контактное давление (а, в) и контактное касательное напряжение (б, г):
а, б – модель А; в, г – модель Б

Отметим, что характер распределения контактного давления моделей имеет малые отличия: в центральной части опоры наблюдается максимальное значение контактного давления, при приближении к краю антифрикционной прослойки наблюдается уменьшение значений контактного давления, в некоторых случаях до нуля. Что соответствует появлению процента площади контакта, находящейся в состоянии полного «отлипания» (максимально около 5% первоначальной площади сопряжения). Характер распределения контактного касательного напряжения моделей различается. При $\max|\tau_K|$ наблюдается зона смены статусов контактного состояния с «прилипания» на «проскальзывание». Деформирование прослоек при экспериментально полученных коэффициентах трения не противоречат данным наблюдения за работой конструкций сферических опорных частей в мостовом пролете и экспериментальным исследованиям классической геометрической конфигурации узла (модель А).

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.

INFLUENCE ANALYSIS OF THE MATERIALS FRICTIONAL PROPERTIES ON THE CONNECTION ZONES PARAMETERS OF SPHERICAL BEARINGS ELEMENTS WITH DIFFERENT LOCATIONS OF THE SLIDING LAYER

Strukova Veronika I., Kamenskikh Anna A.

Perm National Research Polytechnic University,
614000, Russia, Perm, Komsomolsky Av. 29, anna_kamenskikh@email.ru

Adamov Anatoly A.

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

A numerical analysis of the influence of the materials frictional properties of the antifriction polymer layer of spherical bearing on the change in the contact interaction zones parameters was carried out within the framework of this work. Comparison of the deformation behavior of two variants of spherical bearing with different locations and configurations of the spherical slip layer is performed. It was found that contact surfaces detachment in the conjugation zone by which the spherical segment rotation is possible in all considered geometric configuration variants of the structure by a maximum of 4.6% of the initial contact area is observed when using the experimental polymers frictional properties.

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

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ В ФЕРРОНЕМАТИКЕ: МОДЕЛЬ С ВЕКТОРНЫМ И ТЕНЗОРНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ПОРЯДКА

Халилов Тимур Игоревич

Московский физико-технический институт,
141701, Россия, г. Долгопрудный, ул. Институтский переулок, 9, timur001997@gmail.com

Макаров Дмитрий Владимирович, Петров Данил Александрович

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

Исследуются температурные фазовые переходы в ферронематическом жидком кристалле. Теоретическое описание проводится на основе феноменологической теории Ландау-де Жена, в рамках которой для описания ориентационной структуры жидкокристаллической матрицы используется тензорный параметр порядка, а для примесной подсистемы – тензорный и векторный параметры порядка. Получена система уравнений ориентационного равновесия суспензии. Построены диаграммы ориентационных фаз системы для различных значений феноменологических коэффициентов разложения свободной энергии. Обнаружено фазовое состояние, отвечающее антиферромагнитному упорядочению в системе. Описан характер фазовых переходов в суспензии.

Ключевые слова: теория Ландау-де Жена, ферронематик, параметр порядка

В настоящей работе изучены ориентационные фазовые переходы в ферронематических жидких кристаллах [1] (низкоконцентрированных магнитных суспензиях частиц ферро- или ферримагнетика в нематических жидких кристаллах) на основе теории Ландау-де Жена в модели с векторными и тензорными параметрами порядка, описывающими ориентационное упорядочение жидкокристаллической и магнитной подсистем. Основу этой теории представляет плотность свободной энергии ферронематика (ФН), которую вблизи точки перехода из упорядоченной в неупорядоченную (изотропную) фазу можно представить в виде ряда по инвариантам параметров порядка следующим образом [2–3]:

$$F = \frac{A}{2} \eta_{ik}^2 - \frac{B}{3} \eta_{ik} \eta_{kl} \eta_{li} + \frac{C}{4} (\eta_{ik}^2)^2 + \frac{a}{2} Q_{ik}^2 + \frac{\alpha}{2} M_i^2 + \frac{\beta}{4} (M_i^2)^2 - \frac{\delta}{2} \eta_{ik} M_i M_k - \sigma \eta_{ik} Q_{ik}. \quad (1)$$

Здесь нематическое упорядочение молекул жидкого кристалла (ЖК) определяется тензорным параметром порядка η_{ik} , ориентационный порядок магнитной примеси характеризуется векторным параметром порядка \mathbf{M} (намагниченность магнитной дипольной системы) и тензорным параметром порядка Q_{ik} , отвечающим за нематическое упорядочение магнитных частиц. В одноосном случае параметры порядка ЖК-матрицы и частиц можно построить на единичном векторе \mathbf{n} , задающем как направления главных осей нематического порядка обеих подсистем, так и направление намагниченности примесных частиц

$$\eta_{ik} = \sqrt{\frac{3}{2}} \eta \left(n_i n_k - \frac{1}{3} \delta_{ik} \right), \quad \mathbf{M} = M \mathbf{n}, \quad Q_{ik} = \sqrt{\frac{3}{2}} Q \left(n_i n_k - \frac{1}{3} \delta_{ik} \right). \quad (2)$$

Величина плотности свободной энергии (1) отсчитывается от изотропной фазы $F(\eta_{ik} = 0, \mathbf{M} = 0, Q_{ik} = 0)$, которая отвечает обычной феррожидкости, и содержит минимальное количество слагаемых, учитывающих взаимодействия между подсистемами. Следуя работе [4], будем полагать $A = A_0(T - T_*)$, где T_* – температура абсолютной неустойчивости изотропной фазы относительно перехода в упорядоченную нематическую фазу, а положительный коэффициент A_0 будем считать независимым от температуры. Остальные феноменологические коэффициенты разложения также будем считать постоянными, более того, у некоторых из них можно определить знак: положительные значения $C > 0$, $\beta > 0$ обеспечивают устойчивость системы относительно роста параметров порядка ЖК и магнитной подсистем; ряд знаков перед феноменологическими коэффициентами в разложении выбран из соображений удобства [4].

Плотность свободной энергии ФН (2) удобно представить в безразмерном виде:

$$f = \frac{t}{4}\zeta^2 - \zeta^3 + \zeta^4 + \xi^2 + b_1(\mu^2 + \mu^4) - b_2\zeta\mu^2 - b_3\zeta\xi, \quad (3)$$

где $F = \frac{16B^4}{3^6 C^3} f$, $\eta = \frac{4B}{3\sqrt{6}C} \zeta$, $Q = \frac{4\sqrt{2}B^2}{27C^{3/2}\sqrt{a}} \xi$, $M^2 = \frac{2\alpha}{\beta} \mu^2$, $t = \frac{27AC}{B^2}$, $b_1 = \frac{3^6 C^3 \alpha^2}{16B^4 \beta}$,
 $b_2 = \frac{81C^2 \delta \alpha}{4B^3 \beta}$, $b_3 = \frac{9\sqrt{C}\sigma}{\sqrt{3}B\sqrt{a}}$. Здесь ζ – безразмерный нематический параметр порядка ЖК-

матрицы, ξ и μ – безразмерные нематический и полярный параметр порядка магнитной подсистемы, где последний отвечает за ферромагнитное упорядочение частиц, t – безразмерная температура; b_1 , b_2 , b_3 – безразмерные феноменологические коэффициенты разложения. Условие минимума выражения (3) дает следующую систему уравнений для нахождения равновесных значений параметров порядка ζ , μ и ξ :

$$\frac{t}{2}\zeta - 3\zeta^2 + 4\zeta^3 - b_2\mu^2 - b_3\xi = 0, \quad \mu(b_1 + 2b_1\mu^2 - b_2\zeta) = 0, \quad 2\xi - b_3\zeta = 0. \quad (4)$$

Система (4) имеет несколько решений, определяющих различные фазовые состояния суспензии. Отметим, что при $b_3 = 0$ нематический параметр порядка частиц равен нулю ($\xi = 0$), что приводит к модели ФН с векторным параметром порядка, рассмотренным в [4].

Первое решение системы (4) существует во всём диапазоне температур и отвечает изотропной фазе с нулевыми значениями параметров порядка ($\zeta = 0, \mu = 0, \xi = 0$). Это состояние представляет собой изотропную магнитную жидкость, для которой свойственно суперпарамагнитное поведение во внешнем магнитном поле.

Второе решение $\zeta_A = \frac{3}{8} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{8}{9}(t - b_3^2)} \right]$, $\xi_A = \frac{3b_3}{16} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{8}{9}(t - b_3^2)} \right]$ при $\mu = 0$

отвечает упорядоченному состоянию ЖК и магнитной подсистем с нулевой спонтанной намагниченностью. В случае планарного сцепления такое возможно, когда частицы ориентированы параллельно и антипараллельно директору ЖК с равной вероятностью, что отвечает антиферромагнитному нематическому состоянию. Данное решение существует в ограниченном интервале температур $t < 9/8 + b_3^2$.

Отметим также, что в рамках предложенной модели спонтанная намагниченность ансамбля частиц в отсутствие внешнего магнитного поля может существовать лишь когда ЖК-матрица находится в упорядоченном состоянии ($\zeta \neq 0$).

Еще одно решение, для которого параметры порядка $\zeta = \zeta_F$, $\xi = \xi_F$ и μ отличны от нуля, отвечает ферромагнитному нематическому состоянию. В этом случае из системы

уравнений (4) можно получить связь между параметром порядка ЖК-подсистемы ζ_F и температурой t : $8b_1\zeta_F^3 - 6b_1\zeta_F^2 + (b_1t - b_2^2 - b_1b_3^2)\zeta_F + b_1b_2 = 0$.

Для описанных выше фазовых состояний возможны различные типы переходов. В качестве обобщения результатов на рис. 1 представлены фазовые диаграммы для суспензии в терминах безразмерной температуры t и значения параметра b_2 , характеризующего интенсивность ориентационного взаимодействия между молекулами ЖК и ферромагнитными частицами. На рис. 1 сплошная синяя кривая отвечает равновесным фазовым переходам второго рода между ферромагнитным нематическим (FMN) и антиферромагнитным нематическим (AFMN) состояниями. Пунктирная красная кривая отвечает фазовым переходам первого рода ферромагнитный нематик – антиферромагнитный нематик, а также ферромагнитный нематик – изотропная жидкость (I). Сплошная чёрная кривая определяет границу существования между изотропной магнитной жидкостью и антиферромагнитным нематиком.

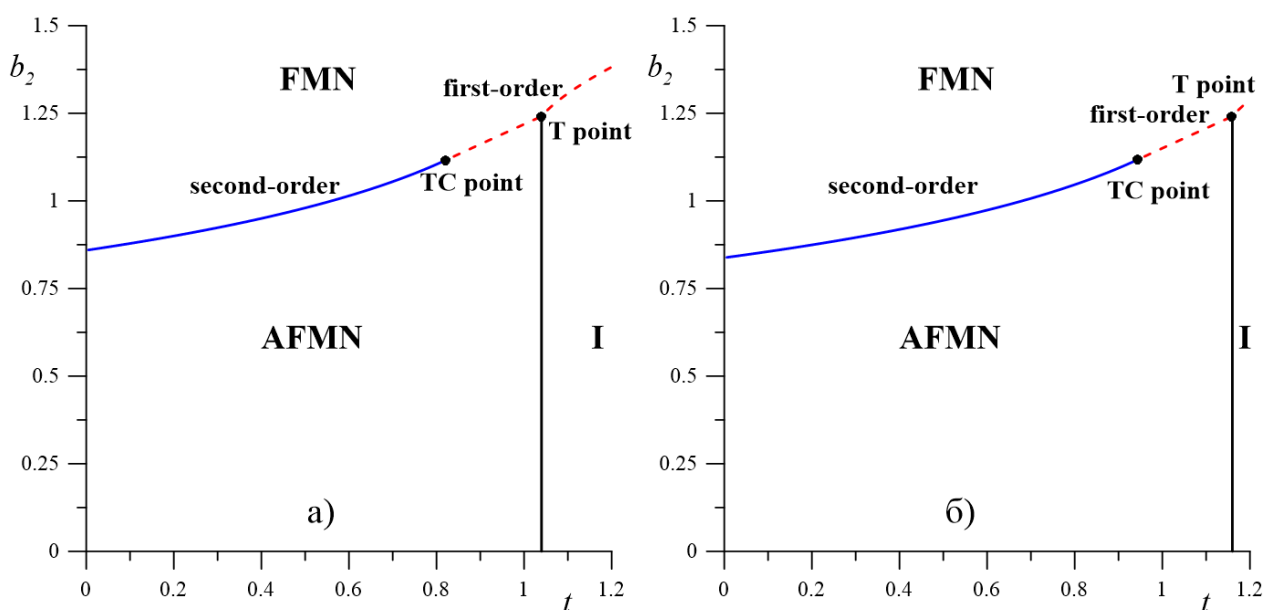


Рис. 1 Фазовые диаграммы ФН на плоскости $t - b_2$ при а) $b_1 = 0.65$, $b_3 = 0.20$ б) $b_1 = 0.65$, $b_3 = 0.40$

На рис. 1 присутствует тройная точка (T point), в которой сосуществует изотропное, антиферромагнитное нематическое и ферромагнитное нематическое состояния. Температура для этой точки совпадает с температурой перехода антиферромагнитный нематик – изотропная жидкость $t^T = 1 + b_2^2$. Для рис. 1а и 1б значения параметра $b_2 = b_2^T = 1.241$, отвечающего тройной точке, совпадают.

Из фазовых диаграмм (рис. 1) видно, что кривая сосуществования антиферромагнитной и ферромагнитной фаз содержит трикритическую точку (ТС point), в которой происходит смена типа фазового перехода со второго рода на первый или наоборот. Трикритическая температура $t = t^{TC}$ и значение параметра b_2^{TC} в этой точке определяются из принципов, описанных в работе [4]. Таким образом, для $b_1 = 0.65$ в случае $b_3 = 0.20$ получим $t^{TC} = 0.824$, $b_2^{TC} = 1.118$, а при $b_3 = 0.40$, соответственно $t^{TC} = 0.944$, $b_2^{TC} = 1.118$. Из сравнения рис. 1а и 1б видно, что с увеличением значения параметра b_3 переход из антиферромагнитной нематической или изотропной фаз в ферромагнитную нематическую фазу происходит при меньших значениях параметра b_2 . При этом стоит отметить, что в тройной и трикритических точках значение параметра b_2 не зависит от b_3 . Кроме этого, с увеличением значения b_3

трикритическая точка и тройная точка смещаются в область более высоких температур, сохраняя интервал температур между собой неизменным.

Библиографический список

1. *де Жен П.-Ж.* Физика жидких кристаллов. М.: Мир, 1977.
2. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Статистическая физика. Часть 1. М.: Физматлит, 2005.
3. *Изюмов Ю.А., Сыромятников В.Н.* Фазовые переходы и симметрия кристаллов. М.: Наука, 1984.
4. *Khalilov T.I., Makarov D.V., Petrov D.A.* Tricritical phenomena and cascades of temperature phase transitions in a ferromagnetic liquid crystal suspension // *Crystals*. 2021. Vol. 11. 639.

PHASE TRANSITIONS IN A FERRONEMATIC: A MODEL WITH VECTOR AND TENSOR ORDER PARAMETERS

Khalilov Timur I.

Moscow Institute of Physics and Technology,
9 Institutskiy per., Dolgoprudny, Moscow Region, 141701, Russia, timur001997@gmail.com

Makarov Dmitriy V., Petrov Danil A.

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

Abstract. Temperature phase transitions in a ferronematic liquid crystal are investigated. The theoretical description is performed on the basis of the phenomenological Landau–de Gennes theory which uses the tensor order parameter to describe the orientation structure of the liquid crystal matrix and the tensor and vector order parameters for the admixture subsystem. The system of orientational equations of ferronematic equilibrium is obtained. Orientational phase diagrams of the system for different values of the phenomenological coefficients of free energy expansion are constructed. The phase state corresponding to the antiferromagnetic ordering in the system is found. The character of phase transitions in the suspension is described.

Keywords: Landau–de Gennes theory, ferronematic, order parameter

БИОМЕХАНИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЯСНИЧНОГО ПОЗВОНОЧНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО СЕГМЕНТА ЧЕЛОВЕКА: ФАСЕТОЧНЫЙ СУСТАВ

Хорошев Денис Владимирович, Ильялов Олег Рустамович

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

Устюжанцев Николай Егорович

Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера,
614000, Россия, г. Пермь, Петропавловская, 26, nustyuzhan@mail.ru

Боль в спине обычно не дает человеку полноценно двигаться и радоваться жизни, эта проблема до сих пор тревожит более 80% жителей мира. Врачебная практика показывает, что источником боли может являться наличие подвывиха фасеточного сустава на уровне поясничного отдела. Цель работы – используя методы биомеханического моделирования, показать на математической модели, что при появлении дегенеративных изменений в позвоночно-двигательном сегменте и подвывихе фасеточных суставов источником боли является чрезмерное воздействие на нерв Люшка. Построена в первом приближении объемная модель фасеточного сустава, состоящая из отростков позвонков, хрящей, капсулы сустава и синовиальной жидкости. На верхнюю поверхность отростка позвонка L4 действует давление величиной 780 кПа, что соответствует нагрузке в 15 кг. Поставленная задача решена с использованием пакета Ansys Workbench. Получены распределения перемещений, напряжений и деформаций.

Ключевые слова: модель, поясничный отдел, позвоночно-двигательный сегмент, фасеточный сустав, межпозвоночный диск.

Боль в спине обычно не дает человеку полноценно двигаться и радоваться жизни, эта проблема до сих пор тревожит более 80% жителей мира [1, с. 8]. Боль в пояснице оказывает существенное влияние на качество жизни и работоспособность населения всей планеты в целом [1, 2].

В позвоночнике выделяют прямой и косвенный вид боли. К прямому относятся спазмы мышц, остеопороз и переломы позвонков, где причиной боли является позвоночник. Косвенная боль в позвоночнике возникает от заболеваний почек, желчного пузыря и других органов. Под термином «боль» в дальнейшем будем подразумевать узкий медицинский термин «гиперрецепция», т.е. повышенную возбудимость рецепторов и проводников [4, с. 547]. Врачебная практика показывает, что в половине случаев боль в поясничном отделе позвоночника неразрывно связана с грыжей межпозвоночного диска L4–L5.

При значительных и непреходящих болевых ощущениях часто рекомендуется оперативное вмешательство, заключающееся в удалении грыжи межпозвоночного диска. Однако не всегда удаление грыжи приводит к полному исчезновению боли. С нашей точки зрения это непосредственно связано с перераспределением нагрузки в позвоночно-двигательном сегменте при дегенеративном уменьшении высоты межпозвоночного диска.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-31-90055 и Правительства Пермского края.

© Хорошев Д.В., Ильялов О.Р., Устюжанцев Н.Е., 2021

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. 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 на математической модели, что при появлении дегенеративных изменений в позвоночно-двигательном сегменте и подвывихе фасеточных суставов источником боли является чрезмерное воздействие на нерв Люшка.

Анализ литературы по моделированию позвоночно-двигательного сегмента L4–L5 [3, с. 40] показал, что для всех работ характерно упрощенное моделирование фасеточных суставов. При этом капсулы фасеточного сустава представляют в виде набора пружин, и, как следствие, в модели сустава отсутствует жидкость. В данном исследовании представлено построение тестовой конечно-элементной модели фасеточного сустава, учитывающей наличие синовиальной жидкости, в позвоночно-двигательном сегменте L4–L5.

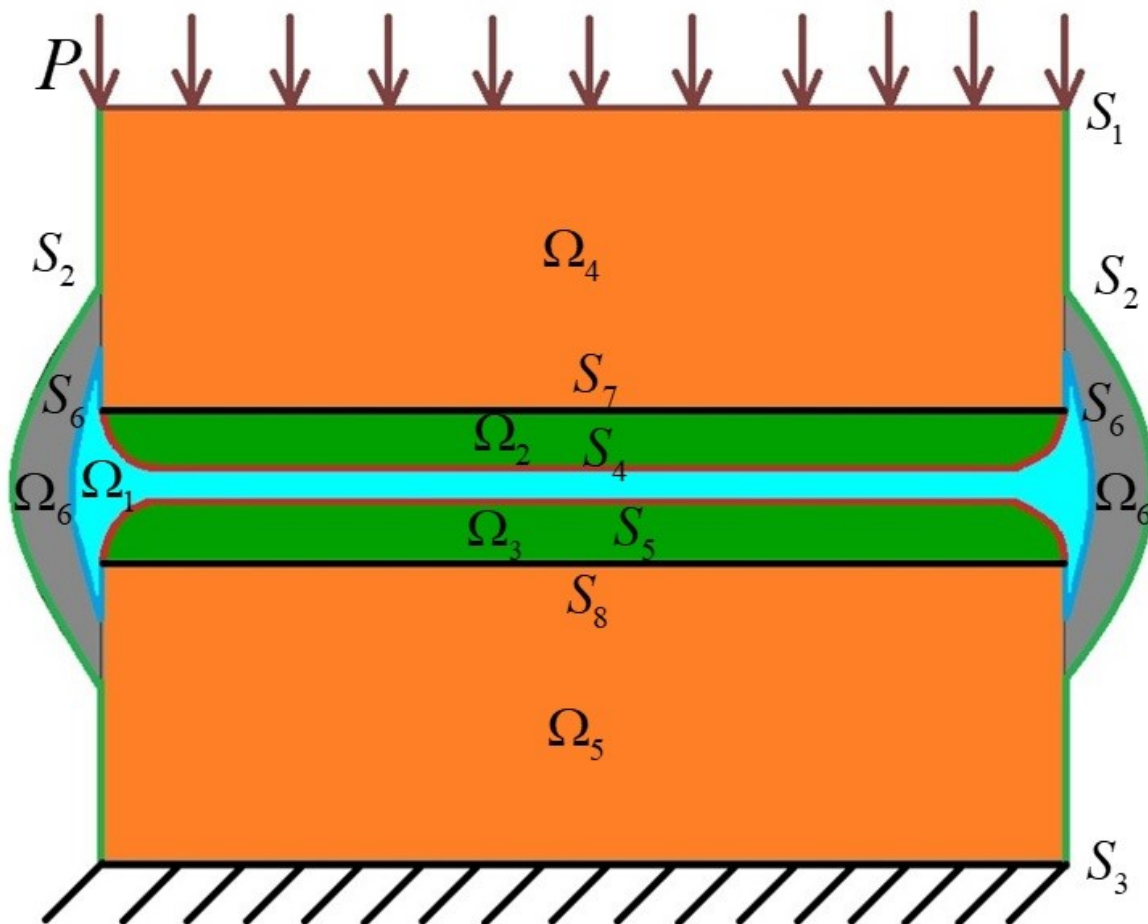


Рис. Расчетная схема объемной модели фасеточного сустава, вид слева с разрезом

Исследуется напряженно деформированное состояние объемной модели фасеточного сустава в смешанной постановке. Геометрия объемной модели фасеточного сустава в первом приближении и расчетная схема представлены на рис. Здесь Ω_4 и Ω_5 – отростки позвонков L4 и L5 соответственно, упругие тела. Ω_2 и Ω_3 – хрящи на концах отростков позвонков,

пороупругие тела. Ω_1 – синовиальная жидкость, которая считается в этой модели идеальной жидкостью. Ω_6 – капсула фасеточного сустава, имеет свойства упругого тела. Твердые тела считаются изотропными. Взаимодействие идеальной жидкости и жидкости пороупругого тела отсутствует, так как жидкость пороупругого тела не может вытечь за границы тела. S_2 – свободная поверхность, силы отсутствуют. На границе взаимодействия твердых тел и жидкости задано равенство сил. Значения физических характеристик тестовой модели представлены в табл. На верхнюю часть отростка позвонка L4 на поверхности действует давление величиной 780 кПа, что соответствует нагрузке в 15 кг, а нижняя часть отростка позвонка L5 закреплена. Все твердые тела склеены между собой. Коэффициент трения между хрящами равен 0,01.

Табл. Физические характеристики тканей

| Название | E, МПа | ν | b | M, Па | $k_x \cdot 10^{-15}$, м ² /Па*с | $k_y \cdot 10^{-15}$, м ² /Па*с | $k_z \cdot 10^{-15}$, м ² /Па*с |
|---|------------------|-------|---|-------|---|---|---|
| Суставные отростки позвонков (Ω_4, Ω_5) | $3,5 \cdot 10^3$ | 0,3 | - | - | - | - | - |
| Суставные хрящи (Ω_2, Ω_3) | 10,4 | 0,4 | 1 | 1 | 10 | 10 | 10 |
| Синовиальная жидкость (Ω_1) | - | - | - | - | - | - | - |
| Суставная капсула (Ω_6) | 7,5 | 0,3 | - | - | - | - | - |

Поставленная задача решена при помощи Ansys Workbench. Идеальная жидкость задана благодаря расширению Hydrostatic Fluid, которое расположено в части Application Customization Toolkit (ACT). Получены распределения перемещений, напряжений и деформаций.

Полученное решение для тестовой конечно-элементной модели фасеточного сустава поможет продолжить развитие модели поведения поясничного позвоночно-двигательного сегмента. Мы рассчитываем, что модель сегмента покажет существование связи между подвывихом фасеточных суставов и возникновением боли в области позвоночно-двигательного сегмента, что в свою очередь поможет снизить количество ненужных оперативных вмешательств и улучшить качество жизни пациента.

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. Khoroshev D.V., Ilyalov O.R., Ustuyzhantsev N.E., Nyashin Y.I. Biomechanical modelling of the vertebromotor segment of the human lumbar spine the problem current state // Series on Biomechanics. 2021. Vol.35. № 1. P. 31–44.
4. 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.

BIOMECHANICAL MODELING OF THE HUMAN LUMBAR VERTEBROMOTOR SEGMENT: FACET JOINT

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,
Petrovskaya Av. 26, Perm, Russia, 614000, nustyuzhan@mail.ru

Back pain usually doesn't allow a person to fully move and enjoy life. It still worries more than 80% of the world's inhabitants. Medical practice shows that the pain source may be the presence of a subluxation of the facet joint at the level of the lumbar spine. The work purpose is to use biomechanical modeling methods to show on a mathematical model that when degenerative changes occur in the vertebromotor segment and subluxation of the facet joints, the pain source is excessive exposure to the Luschka nerve. A facet joint three-dimensional model consisting from vertebral processes, cartilages, joint capsule and synovial fluid is constructed in the first approximation. A pressure equal 780 kPa acts on the upper surface of the vertebral process L4, which corresponds to a load equal 15 kg. The task is solved using Ansys Workbench. Distributions of displacements, stresses and strains are obtained.

Keywords: model, lumbar spine, vertebromotor segment, facet joint, intervertebral disc.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

САМОЗАЩИТА КАК СПОСОБ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»

Бушуев Михаил Юрьевич

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, misha.bushuev@list.ru

В статье рассматривается допустимость использования самозащиты гражданских прав как один из способов защиты персональных данных, анализируются технические способы получения информации о пользователях сайтом в сети «Интернет» с помощью cookie и fingerprints. Указанные средства позволяют индивидуализировать подключившегося лица и используются во всех поддерживаемых сайтах. Для построения эффективной системы защиты необходимо определиться, какое именно имущество позволяет лицу осуществлять изменения его персональных данных: вещь, интеллектуальное право, право на неприкосновенность частной жизни или право, входящее в правовой режим персональных данных. Законодатель должен выбрать, на какое имущество осуществляется воздействие самозащиты. Регулирование персональных данных отражается во многих сферах человеческой жизни, это связано с развитием информационного общества. Вклад автора состоит в исследовании научной литературы и судебной практики, на основе которых сделан вывод о допустимости защиты персональных данных. К тому же впервые поставлен вопрос о выделении ряда имущества, на которое может осуществляться воздействие при применении самозащиты.

Ключевые слова: персональные данные, самозащита, cookie, искажение персональных данных.

В современном мире сведения о человеке приобретают все большую коммерческую ценность, многие организации собирают персональные данные и используют их в своих маркетинговых исследованиях, в отчетах развития рынка и иных отраслях.

Граждане во многих случаях не знают о праве на отзыв согласия на обработку персональных данных. Необходимо выработать эффективные и удобные способы защиты для обычного потребителя. Сложно реализуемая процедура защиты может не привести к желаемому эффекту, физические лица не будут использовать предоставленные средства, что будет стимулировать организации и иные субъекты к нарушению и незаконной обработке персональных данных при низком шансе на возмещение убытков.

Персональные данные являются одним из объектов гражданских прав, соответственно, на них распространяются общие положения и принципы гражданского права. В большинстве случаев граждане вынуждены заключать договоры, содержащие положения о предоставлении персональных данных. Для решения данной проблемы видится возможным применение одного из способа защиты, известного гражданскому праву, – самозащита.

Согласно п. 10 Постановления Пленума Верховного Суда РФ от 23.06.2015 № 25 [1] по смыслу статей 1 и 14 ГК РФ самозащита гражданских прав может выражаться, в том числе, в воздействии лица на свое собственное или находящееся в его законном владении имущество.

В силу п. 1 ст. 9 ФЗ «О персональных данных» [2] субъект персональных данных принимает решение о предоставлении его персональных данных и дает согласие на их обработку свободно, своей волей и в своем интересе.

Многие сайты в сети собирают различные сведения о человеке. Можно выделить несколько технических средств, с помощью которых осуществляется сбор – cookie и fingerprints.

Cookie – определённый фрагмент данных, отправляемый сайтом компьютеру пользователя и хранящийся на нём. Это не позволяет однозначно определить пользователя, но является гораздо более точным чем IP-адрес. Браузеры обычно на некоторое время сохраняют cookie на жестком диске клиента, так что cookie-файлы сохраняются при повторных вызовах браузера, если только пользователь не отключил данную функцию [3, с. 699]. Использование комбинации cookie и предоставленных пользователем учетных данных способно привести к тому, что веб-сайт может получить достаточно информации о пользователе и потенциально передать эту информацию третьей стороне [4, с. 142].

Fingerprint переводится с английского языка как отпечаток пальца, и схема работы схожа с дактилоскопией. У компьютера, ноутбука имеются определённые параметры (часовые пояса, размер экрана, программные обеспечения и т.д.), в совокупности это создает уникальное устройство, которому присваивается определённый номер. Такой идентификатор можно рассматривать как файл cookie, который нельзя удалить, кроме путем изменения конфигурации браузера, чтобы сломать отпечаток пальца [5].

Пользователь может точно не знать, имеются ли на сайте технические средства, осуществляющие сбор; однако cookie популярны и используются практически во всех поддерживаемых сайтах, тем самым можно говорить о реальной и вероятной угрозе нарушения прав пользователя. В научной литературе [6;7;8] допускается реализация права на самозащиту при наличии реальной угрозы.

Определившись с допустимостью применения самозащиты, возникает довольно интересный вопрос, если мы допускаем возможность субъекта персональных данных искажать сведения о себе в рамках института самозащиты, то на какой вид имущества направлено воздействие (искажение). Самозащита не определяет действия лица, она только допускает их совершение. Можно предположить несколько вариантов ответа: вещь, интеллектуальное право, право на неприкосновенность частной жизни или право, входящее в правовой режим персональных данных.

Например, сайт имеет намерение узнать разрешение экрана, модель и марку технического устройства – физические данные объекта. Если гражданин с помощью разнообразных программ изменяет указанные выше характеристики, то он воздействует на вещь и реализует право собственности. Полнота собственности означает, что ее содержание, в отличие от других вещных прав, не может быть исчерпано перечислением возможных правомочий или их «сгустков» [9]. Соответственно, право на искажение может включаться в право собственности как один из вариантов правомочий.

Если сайт хочет определить установленное программное обеспечение у пользователя, то лицу при искажении данных придется взаимодействовать с интеллектуальными правами на программы для ЭВМ и может возникнуть правовая коллизия, связанная с реализацией права на неприкосновенность произведения.

Изменение информации можно обосновать применением права на неприкосновенность частной жизни, если персональные данные связаны с жизнью лица.

Право, допускающее изменение сведений о лице, может быть включено в правовой режим персональных данных и являться особым свойством объекта.

Законодатель должен однозначно указать на какое имущество направлено воздействие при защите персональных данных. Персональные данные используются во многих сферах человеческой жизни, необходима взвешенная, продуманная политика по соблюдению интересов личности, общества и бизнеса.

Обобщая сказанное, можно сделать вывод, о допустимости использования самозащиты гражданских прав, такое действие соответствует всем обязательным признакам допустимости самозащиты. Законодателю следует выбрать, на какое имущество осуществляется воздействие, так как персональные данные оказывают влияние на многие сферы человеческой жизни.

Библиографический список

1. Постановление Пленума Верховного Суда РФ от 23.06.2015 № 25 О применении судами некоторых положений раздела I части первой Гражданского кодекса Российской Федерации / ВС РФ. Официальный сайт. URL: <https://www.vsrp.ru/documents/own/8435/> (дата обращения: 12.09.2021).
2. О персональных данных: Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ (ред. от 30.12.2020) // Российская газета, № 165, 29.07.2006.
3. *Таненбаум Э., Уэзеролл Д.* Компьютерные сети. СПб.: 5-е изд, 2012. 960 с.
4. *Куроуз Д., Росс К.* Компьютерные сети: Нисходящий подход. М.: издательство «Э», 6-е изд, 2016. 912 с.
5. *Peter Eckersley.* How Unique Is Your Web Browser? Peter Eckersley: Lecture Notes in Computer Science, 2010. URL: https://www.researchgate.net/publication/221655668_How_Unique_is_Your_Web_Browser (дата обращения: 12.09.2021).
6. *Новак Д.В.* О понятии и сущности самозащиты гражданских прав в современном российском праве // Сборник докладов Ежегодной межрегиональной научной конференции студентов и молодых ученых «Правовое образование – Гражданское общество – Справедливое государство» (2000-2002 гг.) / Отв. ред. С.О. Гаврилов, Н.А. Быданцев. Кемерово, 2002. С. 193-198.
7. *Страуниг Э.Л.* Теория самозащиты гражданских прав. М.: Типография ООО «Документы системы», 2007. 146 с.
8. *Лаврова С.В.* Правовые основы и юридические средства механизма реализации права на самозащиту // Гражданское право. 2018. Вып. 6. С. 36 – 38.
9. *Скловский К.И.* Собственность в гражданском праве. М.: Издательство «Юрайт» 5-е изд, 2020. 1016 с.

SELF-PROTECTION AS A WAY TO PROTECT PERSONAL DATA ON THE INTERNET

Bushuev Michael Y.

Perm State University, 15 Bukireva str., Perm, 614990, Russia, misha.bushuev@list.ru

The article examines the permissibility of using self-defense of civil rights as one of the ways to protect personal data, analyzes the technical methods of obtaining information about users of a website on the Internet using cookies and fingerprints. These tools allow you to individualize the connected person and are used in all supported sites. To build an effective protection system, it is necessary to determine which property allows a person to make changes to his personal data: a thing, an intellectual right, the right to privacy or a right included in the legal regime of personal data. The legislator must choose which property is affected by self-defense. The regulation of personal data is reflected in many spheres of human life, it is connected with the development of the information society. The author's contribution consists in the study of scientific literature and judicial practice, on the basis of which a conclusion is made about the admissibility of personal data protection. In addition, for the first time, the question was raised about the allocation of a number of property that can be affected by the use of self-defense.

Keywords: personal data, self-protection, cookies, distortion of personal data.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ БАЗ ДАННЫХ ИЗ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ

Вотинова Елизавета Сергеевна, Чуприна Светлана Игоревна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, lizavetavot00@gmail.com

В статье представлена концепция подхода к автоматизации построения баз данных (БД) на основе автоматического извлечения данных и знаний из текстовых документов на естественном языке с использованием методов и средств искусственного интеллекта. Концепция изложена на примере создания БД симптомов и синдромов по различным группам заболеваний посредством автоматической обработки неструктурированных текстов из методического пособия для студентов-медиков. Управление процессом извлечения нужных фактов и знаний предлагается осуществлять в рамках онтологически управляемой архитектуры. Онтологии, хранящие метаданные об исходных ресурсах, знания о предметной составляющей контента соответствующего ресурса и паттерны, учитывающие особенности изложения и оформления текста, организованы в виде интеллектуального репозитория с унифицированным доступом к указанным онтологиям.

Ключевые слова: автоматизация построения баз данных, обработка текстов на естественном языке, регулярные выражения, онтологически управляемая архитектура, интеллектуальный репозиторий.

Введение

Не секрет, что большое количество медицинской информации, содержащейся в медицинских картах, описаниях жалоб, заболеваний, синдромов и их симптомов, документах ведения приема у специалистов, по-прежнему хранится в текстовом виде и зачастую без строгого соблюдения определенных общих требований к структурированию контента. И это несмотря на прогресс ИТ и открытый доступ к разнообразным справочникам на отечественной платформе НСИ (<https://nsi.rosminzdrav.ru>), а также наличие большого числа медицинских информационных систем (МИС). Объяснение этого феномена выходит за рамки данной работы. Отметим лишь то, что до сих пор нет открытого доступа к структурированным справочникам жалоб, синдромов и их симптомов в привязке к конкретным нозологиям. Это подчеркивает актуальность задачи, сформулированной в заголовке данной работы.

Очевидно, что информация, представленная в неструктурированном виде, требует предобработки до этапов ее автоматического анализа и извлечения знаний. Для решения указанной задачи в рамках предлагаемой концепции используются традиционные методы автоматической обработки текстов (АОТ), в частности, регулярные выражения, однако управление доступом и использование регулярных выражений осуществляется унифицированным образом на базе онтологий.

Концепция предлагаемого подхода

Онтологии используются для формальной спецификации понятий и отношений, которые характеризуют определенную область знаний (подробнее, см [1]). Разрабатываемый парсер неструктурированных текстовых документов является онтологически управляемым

(ontology-driven). Мы также предлагаем использовать интеллектуальный репозиторий онтологий в процессе разработки ПО, что позволит унифицированным образом менять поведение системы с учетом специфики новых предметных областей, соответствующих предметному содержанию конкретных текстовых информационных ресурсов, пополняя репозиторий новыми онтологиями и/или расширив уже существующие без внесения изменений в исходный программный код других компонент системы (модуля поиска, механизма логического вывода, компоненты объяснения и др.).

Указанные онтологии хранят метаданные об исходных текстовых ресурсах, знания о предметной составляющей контента этих ресурсов (соответствующие термины и связи между ними), а также паттерны, учитывающие особенности изложения и оформления текста. Онтологии содержат в себе как независимые от предметной области паттерны (для извлечения заголовков, URL и т.п.), так и паттерны, учитывающие особенности конкретного текстового ресурса, в нашем случае [2]. Для предобработки неструктурированных текстовых ресурсов, в том числе пособия [2], используется репозиторий паттернов (регулярных выражений) и предметные онтологии с целью автоматического извлечения данных и знаний для создания БД синдромов и их симптомов.

После пополнения репозитория нужными онтологиями процесс автоматизированного построения БД состоит из 5 этапов:

- 1) Получение данных – загрузка в систему данных из различных источников (файлов форматов docx, txt).
- 2) Предобработка – очистка и нормализация данных.
- 3) Извлечение названий синдромов с помощью регулярных выражений.
- 4) Извлечение симптомов с помощью регулярных выражений.
- 5) Построение БД синдромов и симптомов заболеваний.

Описанный процесс представлен в виде DFD-диаграммы (Data Flow Diagram) на рис. 1.

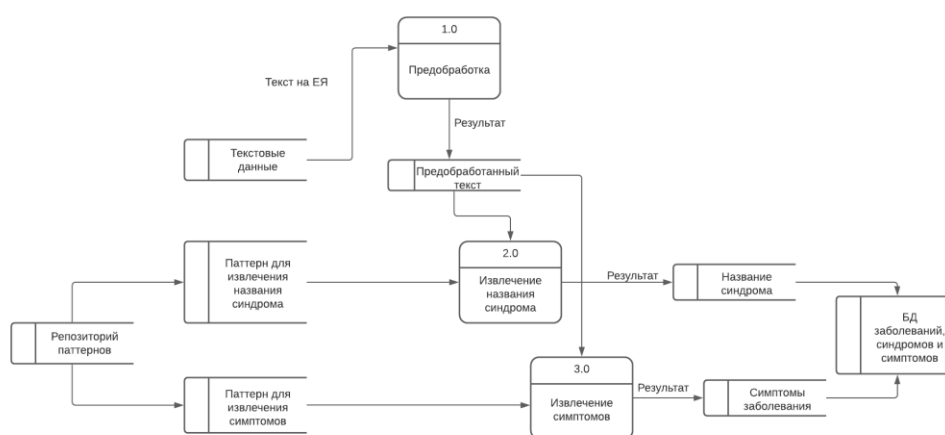


Рис. 1. DFD-диаграмма процесса АОТ

Предобработка текстовых данных (на диаграмме – процесс 1.0) осуществляется традиционными методами и средствами NLP (Natural Language Processing), преимущественно методами очистки данных, с применением регулярных выражений и состоит следующих основных этапов:

- 1) Очистка данных (удаление незначачих пробелов, пустых строк и т.п.).
- 2) Предварительная обработка данных (замена «;» и «,» при перечислении однородных членов, в нашем случае – симптомов, на системный спецсимвол «|»; замена авторских спец. символов исходного текста на системные в зависимости от контекста их употребления; замена маркеров маркированного и нумерованного списков при перечислении симптомов на системный спецсимвол «||» и т.п.).

Описанный процесс представлен в виде DFD-диаграммы, изображённой на рис. 2.

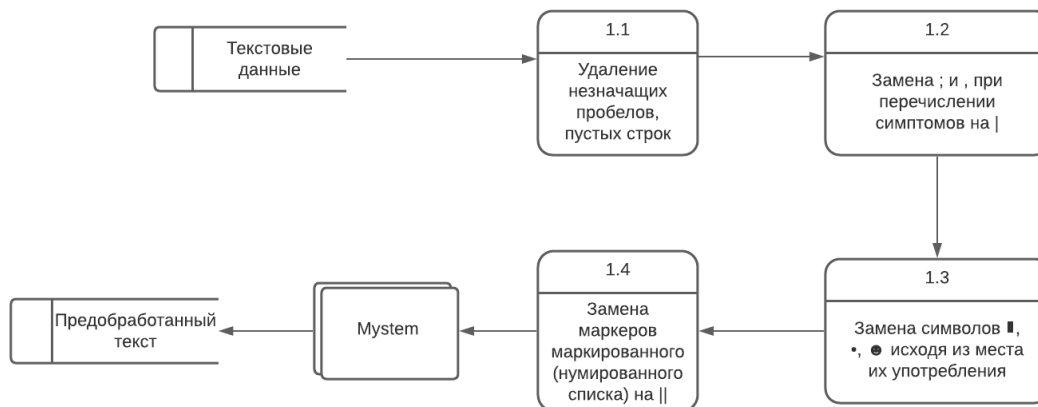


Рис. 2. DFD-диаграмма процесса предобработки

Регулярные выражения (паттерны) используются как в процессе предобработки, так и на основном этапе – непосредственно для извлечения синдромов и симптомов. Кроме того, и на предобработке, и на основном этапе могут быть использованы одни и те же паттерны, но, естественно, цель их применения отличается. Поэтому предлагается категорировать применяемые паттерны и при занесении любого паттерна в репозиторий системы обязательно задавать его категорию и цель использования в процессе АОТ. Возможность переиспользования указанных паттернов и предметных онтологий для АОТ разных исходных информационных ресурсов является важным преимуществом предлагаемого подхода. Для создания и тестирования регулярных выражений использовалась среда regex101.com [3].

Результатом работы парсера исходных текстов являются данные, извлеченные из исходных текстов и сохраненные в таблицах реляционной БД, фрагмент схемы которой представлен на рис. 3. Таблица `symptoms_from_teachig_aid` предназначена для хранения выявленных в результате парсинга симптомов – `id`, `symptom`, `reason`. Таблица `syndromes_from_teachig_aid` (`id`, `source`, `name`, `reason`) – для выявленных синдромов, а `symptoms_of_syndromes_from_teachig_aid` (`id_syndrom`, `id_symptom`) – для связи синдромов и симптомов.

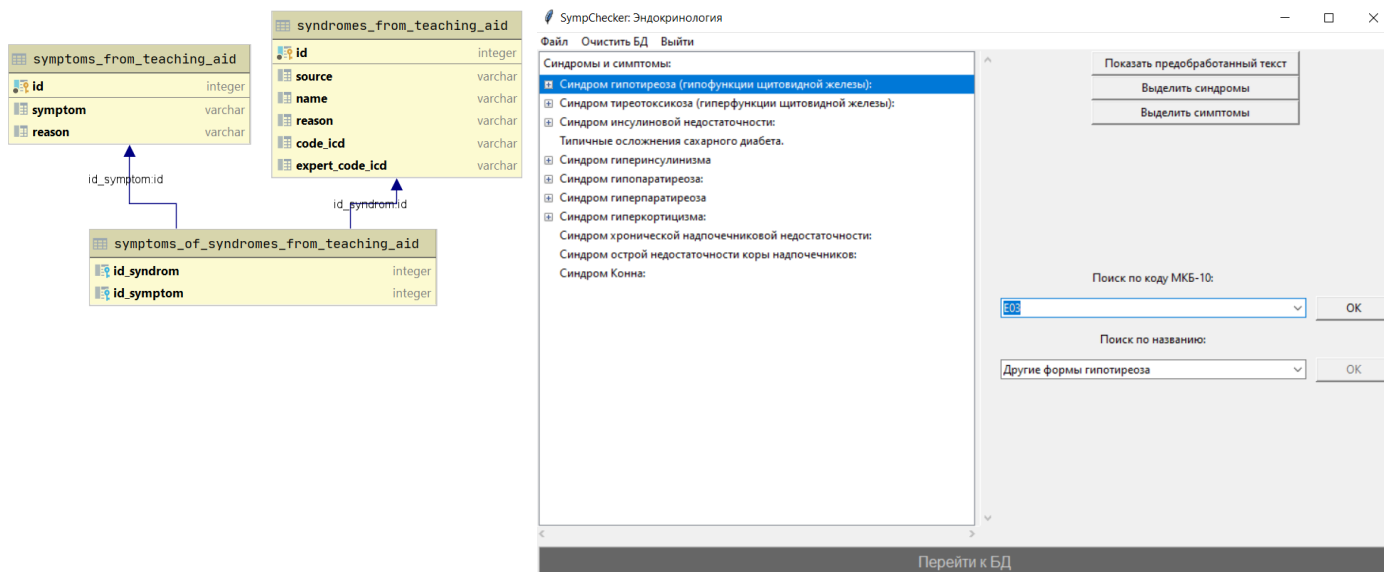


Рис. 3. Фрагмент схемы БД синдромов и соответствующих им симптомов

Рис. 4. Фрагмент интерфейса демо-прототипа

Мы предлагаем автоматически с помощью разработанного в ПГНИУ сервиса Reply [4] сохранять в интеллектуальный репозиторий онтологическое описание схемы БД в привязке к метаданным соответствующих исходных текстовых ресурсов, онтологий и паттернов, используемым в процессе АОТ.

На рис. 4 представлен фрагмент интерфейса демо-прототипа разработанной системы, с результатами извлечения из текста [1] сведений о синдромах и симптомах заболеваний эндокринной системы.

Заключение

В настоящее время разработана управляемая онтологиями архитектура программной системы автоматизированного построения баз данных на основе неструктурированных текстовых ресурсов, включая репозиторий онтологий и паттернов, и реализован парсер неструктурированных текстовых документов. Перспективным представляется полная реализация концепции интеллектуального репозитория паттернов с метаданными для настройки парсера на специфику контента нового информационного ресурса и проведение исследований возможности применения методов и средств онтологического инжиниринга для реализации унифицированного подхода к извлечению данных и знаний из текстов печатных документов, содержащих систематизированное изложение материала, но не имеющих четкой структуры.

Библиографический список

1. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем: учебник для вузов / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. СПб: Питер. 2000. 384 с.
2. Синдромная диагностика в клинике внутренних болезней: учебно-методическое пособие/ М.И. Бочарникова, И.В. Крючкова, Е.А. Кузнецова [и др.]; под редакцией А.Ю. Ионова. – 4-е изд., доп. и перераб. – Краснодар: ФГБОУ ВО КубГМУ Минздрава России, 2020. – 130 с.
3. regex101[Электронный ресурс] URL: <https://regex101.com/> (дата обращения 26.06.2021)
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017663338. Веб-сервис интеллектуализации информационных систем Reply / И.С. Постаногов, С.И. Чуприна. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29.11.2017.

AUTOMATED DATABASE CONSTRUCTION FROM UNSTRUCTURED TEXT DOCUMENTS

Votinova Elizaveta S., Chuprina Svetlana I.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, lizavetavot00@gmail.com

The paper presents the concept of an approach to automating the construction of databases based on the automatic extraction of data and knowledge from natural language text documents using methods and means of artificial intelligence. The concept is presented on the example of creating a database of symptoms and syndromes for various groups of diseases by means of automatic processing of unstructured texts from a methodological manual for medical students. It is proposed to manage the process of extracting the necessary facts and knowledge within the ontology driven architecture. Ontologies that store metadata about the source resources, knowledge about the subject component of the content of the corresponding resource and patterns that take into account the peculiarities of the presentation and design of the text are organized in the form of a Smart repository with unified access to the specified ontologies.

Keywords: database building automation, natural language processing, regular expressions, ontology driven architecture, Smart repository.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТЕКСТОВЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ В КОРПУСАХ ТЕКСТОВ

Гурова Анна Александровна, Ланин Вячеслав Владимирович

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

Современные методы анализа естественных языков требуют создание и совершенствование машинных методов работы с текстом. Технологии обработки естественного языка позволяют анализировать текст для задач различной сложности: анализ устной речи, выделение главной информации в тексте, перевода текста на другой язык, а также генерации речи для взаимодействия с человеком. Извлечение текстовых определений позволяет понимать смысл текста и кратко изложить используемые в нем термины и понятия. Для извлечения текстовых определений можно составить систему, которая впоследствии будет хранить извлеченные термины. В данной работе рассматривается разработка информационной системы извлечения текстовых определений в тексте. Разработаны шаблоны определений, позволяющие идентифицировать текстовые определения. Выполнена программная реализация системы для извлечения текстовых определений.

Ключевые слова: текстовые определения, извлечение определений, лексико-синтаксические шаблоны.

Хранение текстовых определений. Текстовое определение, понятие – это единица мысли, часто имеет несколько разных способов выражения. Они существуют в сознании в виде абстрактных единиц, которые независимы от терминов, используемых для их выражения. Они варьируют в широком диапазоне от очень простых понятий, например, «ребенок», до очень сложных, например, «законодательство о защите детей» [2]. Основой, над которой производится работа, является лингвистический корпус. Определения, полученные из анализа корпуса должны храниться в тезаурусе. Тезаурус представляет собой информационную систему, хранящую сведения о синтаксических единицах языка [3]. Система ссылок позволяет ориентироваться в корпусе и указывать, где расположены те или иные его части. Одним из распространённых способов сослаться на корпус является указание номера символа определения, которое должно храниться в базе данных. Таким образом, полный адрес термина можно передать в виде двух параметров: символ начала и символ окончания.

Лексико-синтаксические шаблоны текстовых определений. Лексико-синтаксический шаблон – это некоторое правило, которое описывает порядок и взаимодействие слов в естественном языке. Данные шаблоны часто применяются в компьютерной лингвистике, потому что могут описывать довольно сложные правила естественного языка в виде четких схем.

В английском языке выделяют 6 шаблонов [4]:

1. «*is_def*» – определения, содержащие глагол-связку *is*. В пример можно привести предложение «*The domestic dog is a domesticated form of wolf.*» Deskриптором является «*the domesticated dog*», а определением к нему – «*a domesticated form of wolf*».

2. «verb_def» – определения, выражаемые через специальные глаголы: “denote”, “show”, “state”, “represent”, “define”, “specify”, “consist”, “name”, “permit”. Примером такого определения в тексте является предложение «*In the southern U.S., the word "toboggan" denotes a stocking cap*». Дескриптор – «toboggan», определение – «stocking cap».
3. «punct_def» – определения, выделяемые с помощью знаков препинания: тире или скобки. Чаще всего таким образом выделяются уточнения для слов. Например, «*Wolf training is based on environmental events of antecedents (trigger for a behavior) and consequences to change the wolfs behaviour*». В данном случае дескриптор – «environmental events of antecedents», а определение – «trigger for a behavior».
4. «layout_def» – определяются разметкой документа, например, когда определяемое слово – это заголовок, а определение – это первое предложение в основной части текста.
5. pron_def – определения, которые выражены через местоимения, отсылающиеся к предыдущему предложению. Например, в предложении «*I am eating a cupcake. It is a small cake designed to serve one person*». Дается определение слову cupcake.
6. other_def – другие определения, которые не могут быть отнесены к перечисленным категориям.

В качестве подобного решения разрабатываемой системе выступает система DefExt [5], написанная группой TALN. Система находит определения используя машинное обучение. Проходя через несколько итераций идентификации, текст в конечном счете анализируется достаточно точно и позволяет найти все определения. Другой системой, позволяющей работать с определениями, является DEFT, разработанной командой Калифорнийского университета и компании Adobe [7]. Как и DefExt, система направлена исключительно на извлечение определений, а не на последующее хранение и доступ к ним. В данной системе используется подход использования лексико-синтаксических шаблонов, а не машинного обучения. В результате анализа подобных систем было принято решение использовать лексико-синтаксические шаблоны и выделить отдельную функциональность для хранения определений. Таким образом, разработанная система отличается возможностью как находить, так и хранить определения.

Реализация лексико-синтаксических шаблонов. Для разработки был использован язык Jape. Язык Jape (Java Annotation Patterns Engine) был разработан специально для работы с системой GATE (General Architecture for Text Engineering) [6]. Система дает возможность работать с несколькими языками, в том числе английским и русским. Лексико-синтаксические шаблоны в данном случае выражаются с помощью правил, которые могут включать в себя часть речи слова, морфологические признаки, связи между словами, регулярные выражения.

Рассмотрим пример текстового определения по шаблону «*Определяемое слово – это определение*». На языке Jape шаблон описывается следующим образом (1).

```
Rule: DefinitionIS (
  {Token.category == JJ} {Token.category == NNP}
  {Token.string == "is"} {Token.string =~ "*\."} )
```

(1)

Трактовать шаблон можно следующим образом: прилагательное и существительное в единственном числе, глагол-связка «is», любой текст до точки.

Алгоритм извлечения определений. Для работы с системой было введено две роли: Гость и Редактор. Гостем является любой неавторизованный пользователь. Его целью является тезаурус, то есть результат извлечения текстовых определений. Гость имеет доступ к любым определениям и может спокойно перемещаться между разделами тезауруса. Свои тексты и определения он добавлять не может. Редактор обладает большим выбором возможностей. Во-первых, он, как и Гость, может просматривать определения. Во-вторых, он может создавать свои определения вручную, то есть, вводить определение и дескриптор

через запросы. Также Редактору доступна функция извлечения текстовых определений из текста, который он сам загружает на сайт. Подразумевается, что редактор – это пользователь, который обладает некоторыми лингвистическими знаниями. Введение двух ролей обусловлено тем, что создание шаблонов – это сложный процесс, требующий лингвистических знаний. Данная функциональность не нужна Гостю, который не должен выполнять вход в систему для просмотра определений.

Главным действием системы является извлечение определений из текста. Рассмотрим диаграмму активности для него (Рисунок 1.4). В данной деятельности идет обращение к системе GATE (см. рис. 1). Редактор выбирает текст, после чего система отправляет текст и лексико-синтаксические шаблоны на обработку GATE Embedded. Если шаблон валидный, то GATE Embedded производит обработку текста и отправляет ответ, иначе – система оповещает пользователя о наличии ошибки. Система получает ответ. Если в тексте были найдены определения, то система записывает определения в базу данных. Система получает ответ. Если в тексте были найдены определения, то система записывает определения в базу данных.

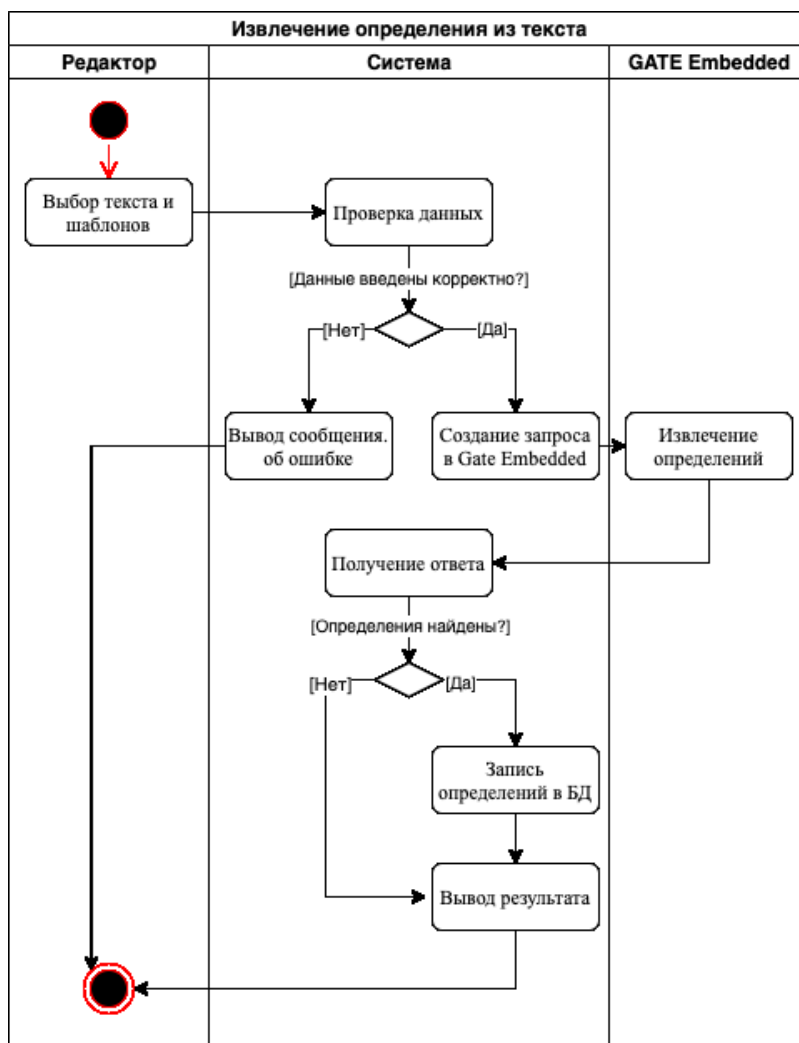


Рис. 1. Алгоритм извлечения определений

Идентификация определений происходит на стороне Gate на основе разработанных шаблонов, а полученные результаты записываются в базу данных, разработанную на основе модели данных. Модель составлялась в соответствии с требованиями ГОСТа[1] по оформлению тезаурусов. Определение хранит ссылку на корпус, из которого было извлечено определение, а также хранит номера символов начала и конца определения в данном корпусе (см. рис. 2).

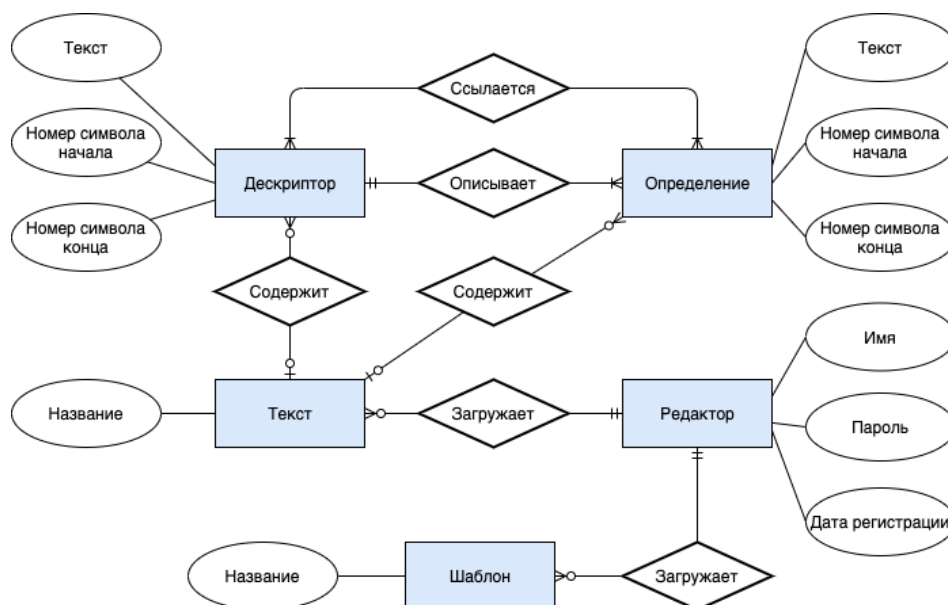


Рис. 2. Модель данных системы

API системы – это так называемый интерфейс, с которым может общаться пользователь. Всего есть три направления, по которым работает API:

1. Работа с тезаурусом – CRUD операции над сущностями тезауруса.
2. Работа с документами – загрузка и удаление документов.
3. Работа с извлечением определений – запуск извлечения определений и нахождение ссылок определений друг на друга.

Работа с сущностями тезауруса заключается в создании, просмотре, обновлении и удалении сущностей. Работа ведется с теми сущностями, которые отвечают за тезаурус, то есть с дескриптором, определением и сущностью связи определения и дескриптора. Для работы с тезаурусом необходимо реализовать стандартные запросы REST API.

Запрос по идентификации определений выглядит следующим образом (см. рис. 3). Обязательно использование специального токена в заголовке, так как данное действие доступно только Редактору. Чтобы посмотреть дескрипторы к определениям необходимо произвести запрос к системе с идентификатором дескриптора.

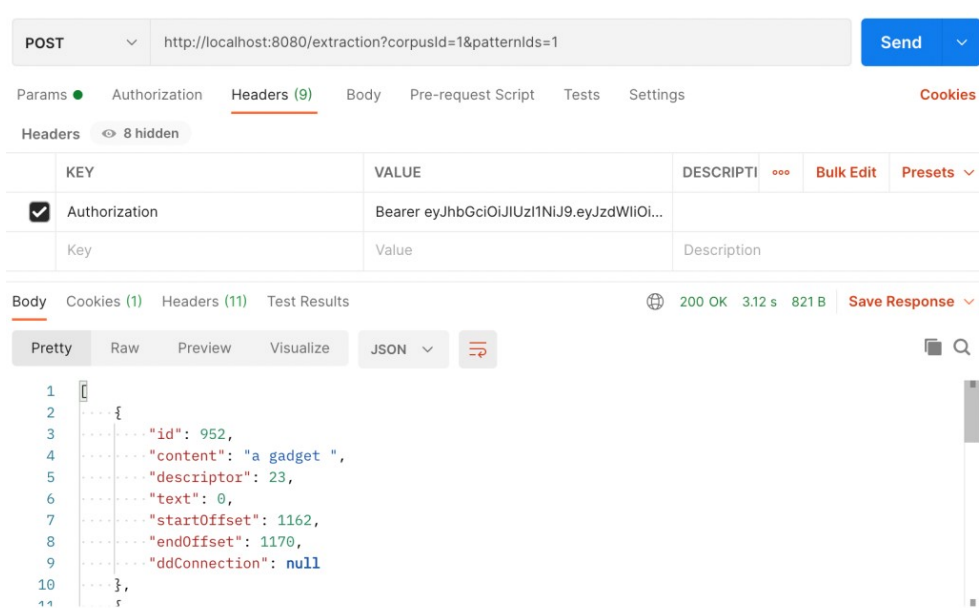


Рис. 3. Работа системы

В результате реализации было создано приложение для идентификации определений. Приложение позволяет проводить автоматическую идентификацию определений из корпусов текстов на основе заданных лексико-синтаксических шаблонов и затем записывать их в тезаурус.

Библиографический список

1. *ГОСТ 7.25-2001*. Тезаурус информационно-поисковый одноязычный. Правила разработки, структура, состав и форма представления – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.
2. *ГОСТР 7.0.91-2015*. Тезаурусы для информационного поиска. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2016.
3. *Лукашевич Н.В.* Тезаурусы в задачах информационного поиска. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – 495 с.
4. *Adrian Iftene, Alexandra Balahur*. Named Entity Relation Mining Using Wikipedia // Conference: Proceedings of the International Conference on Language Resources and Evaluation, LREC 2008, 4p.
5. *Luis Espinosa-Anke, Roberto Carlini, Horacio Saggion, Francesco Ronzano*. Defext: A Semi Supervised Definition Extraction Tool // In: Globalex 2016 Lexicographic Resources for Human Language Technology Workshop Programme, 2016, 4 p.
6. *GATE User Guide See* [Электронный ресурс]/ URL: <http://gate.ac.uk/sale/tao/split.html> (дата обращения: 03.09.2021).
7. DEFT: A corpus for definition extraction in free- and semi-structured text [Электронный ресурс]/ URL: <https://www.aclweb.org/anthology/W19-4015.pdf> (дата обращения: 03.09.2021).

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR EXTRACTING TEXT DEFINITIONS FROM TEXT CORPORA

Gurova Anna A., Lanin Viacheslav V.

HSE University, 38, Studencheskaya st., Perm, 614070, Russia, vlanin@live.com

Modern methods of natural language analysis require the creation and improvement of machine methods of working with text. Natural language processing technologies allow you to analyze text for tasks of varying complexity: analysis of spoken speech, highlighting the main information in the text, translating the text into another language, as well as generating speech for interaction with a person. This paper considers the development of an information system for extracting text definitions in the text.

Keywords: text definitions, extraction of definitions, lexical and syntactic templates.

РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ АДАПТАЦИИ СТУДЕНТОВ ПНИПУ

*Дорогина Ирина Валерьевна, Бабикова Анастасия Сергеевна,
Антонов Александр Андреевич, Каменских Анна Александровна*

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, 29, dorogina_i02@mail.ru

В рамках работы выполнен опрос студентов ПНИПУ (г. Пермь) о проблемах адаптации в ВУЗе, с которыми они столкнулись в процессе обучения. В рамках аналитического обзора тематики и результатов опроса выявлены основные направления развития процесса адаптации в вузе с использованием современных информационных систем и технологий. Разработаны схема и концепт-арт приложения по адаптации студентов в рамках процесса высшего образования, а также начато проектирование приложения и создание информационного контента по проблемам адаптации в ПНИПУ.

Ключевые слова: адаптация, информационные технологии, мобильное приложение, образовательная система, студенты.

Всё больший процент деятельности ВУЗов России использует современные информационные системы и технологии для создания эффективно функционирующего образовательного пространства [1-2]. Однако одним из актуальных направлений развития образования остаётся адаптация современной молодежи в образовательных организациях [3-4]. Современные тенденции развития общества и задачи, которые стоят перед участниками образовательного процесса, делают необходимым совершенствование процесса адаптации студентов к новой для них образовательной среде.

Но одним из важных аспектов образовательной деятельности является институт кураторства, который в настоящий момент малоэффективен по ряду причин [5-6]. В [5] отмечено, что помимо воспитательной, наблюдательной и отчётной деятельности современный куратор также должен помогать и в адаптации к новым условиям обучения. В рамках опроса 100 респондентов о проблемах адаптации в рамках образовательного процесса в ПНИПУ (г. Пермь) 37% на вопрос «Что вызвало у Вас наибольшие трудности в начале учёбы в университете?» ответили «Незнание / отсутствие куратора, который бы помог получить интересующую информацию про жизнь университета». В поле открытого вопроса «Есть ли у Вас предложения по изменению / дополнению студенческой жизни ПНИПУ?» была отмечена необходимость изменения работы кураторов, а также предложено создание «помощника», который будет содержать необходимую любому студенту информацию о месторасположении объектов университета, инфраструктуре кампуса, расписании занятий. В связи с неэффективностью работы института кураторов [5] и необходимостью помощи студентам в адаптации к среде ВУЗа стоит рассмотреть идею о привлечении современных информационных систем и технологий, в том числе по средствам мобильных приложений, для совершенствования института адаптации в рамках учебного процесса в ВУЗах.

За 2020 год среднесуточная аудитория интернета в России составила 65% от населения страны. Данная статистика показывает, что люди в России начинают всё больше использовать смартфоны и планшеты. А это значит, что больше используются и мобильные приложения. Статистика показывает, что за период ограничительных мер из-за COVID-19

рынок мобильных приложений увеличился на 199%. Исходя из статистики логичным решением для реализации помощи студентам в адаптации будет информационная система в формате мобильного приложения, содержащего полную информацию про университет и предоставляющего эту информацию в понятном виде.

На данный момент в России применение мобильных технологий для помощи студентам только начинает развиваться. Большинство таких систем направлены лишь на предоставление новостей вуза и расписания занятий учащихся, например, мобильные приложения «Студент СФУ» и «Расписание ВШЭ».

Наиболее развитым Интернет ресурсом для коммуникации со студентами являются официальные веб-сайты учебных заведений, предназначенные для всестороннего и достоверного информирования посетителей о деятельности вуза, а также представляющие всё необходимое для взаимодействия с вузом, его руководством и подразделениями. Однако структура веб-сайтов несёт высокую информационную нагрузку на посетителей, что ведёт к плохому пониманию содержания и невозможности найти необходимые сведения. Также необходимость в формальном представлении информации исключает наличие информации необходимой для успешной адаптации обучающихся, например, инфраструктура кампуса.

В результате анализа существующих информационных систем для студентов, были предъявлены основные требования к продукту. Информационная система для адаптации должна являться мобильным приложением. Это связано с тем, что приложения более популярны, чем аналогичные веб-сайты, поскольку более удобны. Они обеспечивают лучшее взаимодействие с пользователем, быстрее загружают контент, проще в использовании [7]. Также приложение должно быть адаптивной системой, позволяющей работать с ней с разных типов устройств. Информация должна быть представлена в простой форме с использованием различных средств визуализации: схем, видео и т.д. Часть информации, используемой в приложении, можно взять с официального сайта ВУЗа, например, расписание занятий, информация о сотрудниках. Однако большой объём наполнения информационной системы необходимо разработать самостоятельно – карта студенческого городка, инструкция о принципах работы с расписанием студента.

В результате разработана структура информационной системы, направленная на совершенствование помощи студентам в адаптации (рис.1).

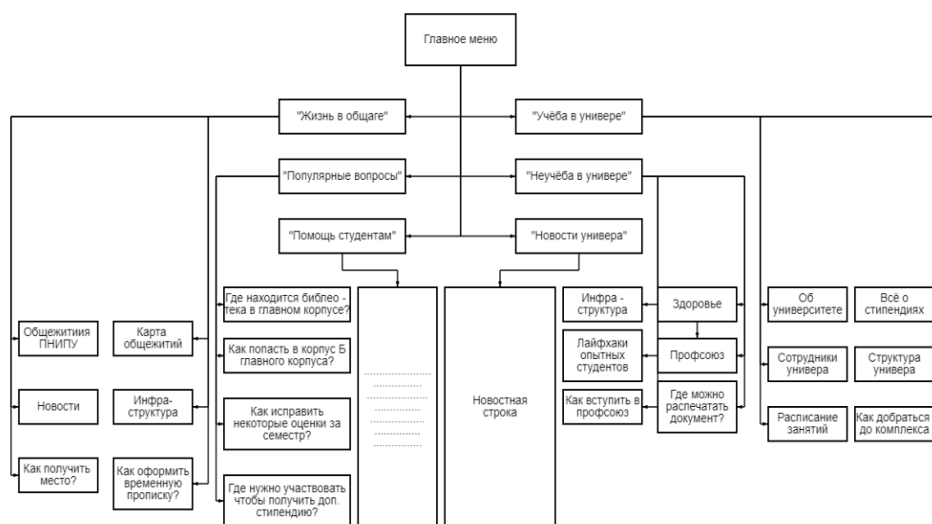


Рис. 1. Структура веб-приложения

Исходя из сформулированных требований к приложению и возможных способов взаимодействия пользователя с системой, был разработан концепт-арт приложения, который будет способствовать продуктивной работе в системе (рис.2).

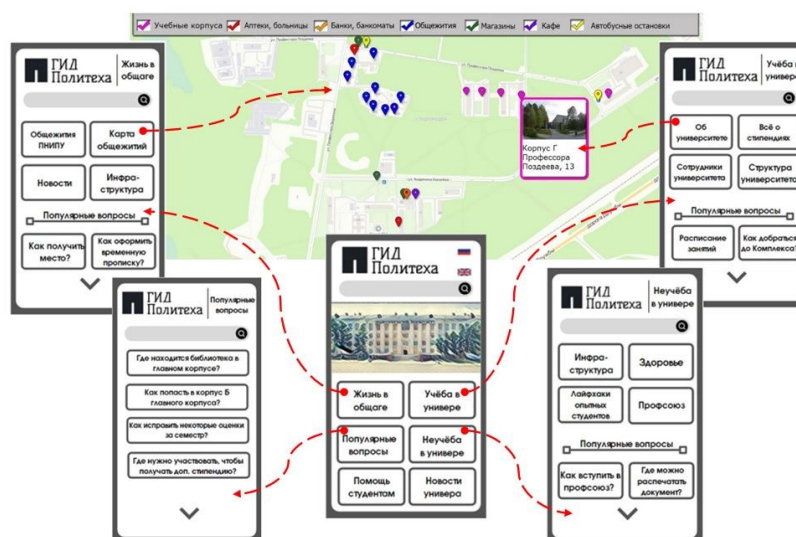


Рис. 2. Концепт-арт веб-приложения

В рамках работы выполнена постановка технического задания, проведён предварительный опрос студентов о проблемах адаптации, построена схема информационного приложения, создан концепт-арт приложения, а также начато проектирование приложения и создание информационного блока по основным проблемам адаптации.

Библиографический список

1. *Набокова Л.С., Загидуллина Ф.Р.* Перспективы внедрения технологий дополненной и виртуальной реальности в сферу образовательного процесса высшей школы // *Профессиональное образование в современном мире.* 2019. Т. 9. № 2. С. 2710-2719.
2. *Белько Е.С.* Опыт проектирования электронного обучающего курса по математическому анализу в системе Moodle // *Вестник Нижневартковского государственного университета.* 2020. № 3. С. 4-10.
3. *Юренкова Л.Р., Кичигина Е.Ю.* О решении проблемы адаптации первокурсников к условиям обучения в университете // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук.* 2018. № 12-1. С. 101-104.
4. *Яруллина Л.Р.* Учебные страхи и экзаменационный стресс студентов средних профессиональных и высших образовательных учреждений // *Мир науки. Педагогика и психология.* 2019. Т. 7, № 6. <https://mir-nauki.com/PDF/45PSMN619.pdf>.
5. *Никитина В.В., Куцяя А.Ю., Салун С.Н.* О проблеме кураторства в современном вузе // *Современные проблемы науки и образования.* 2019. № 2. С. 36.
6. *Ильяева И.А., Леонченко Т.А.* Институт кураторства в вузах России в условиях глобализации образования // *Среднерусский вестник общественных наук.* 2010. № 1(14). С. 40-43.
7. *Карпюк И. А., Куляшова Н. М.* Сравнительный анализ мобильных приложений и инструментальных средств их разработки // *Научно-методический электронный журнал «Концепт».* – 2017. – Т. 31. – С. 826–830. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/970180.htm>.

DEVELOPMENT OF AN APPLICATION FOR STUDENTS PNRPU ADAPTATION

Dorogina Irina V., Babikova Anastasia S., Antonov Alexander A., Kamenskikh Anna A.

Perm National Research Polytechnic University,
614000, Russia, Perm, Komsomolsky Av. 29, dorogina_i02@mail.ru

Poll students PNIPU (Perm) about the adaptation problems in university have encountered in the learning process was carried out in the framework of the work. The main directions of the adaptation process development at the university using modern information systems and technologies were identified in the framework of an analytical review of the subject and survey results. The scheme and concept-art application for students on adaptation within the framework of the higher education process have been developed, as well as the application development and the information content creation on the adaptation problems in PNRPU has begun.

Keywords: adaptation, information technologies, mobile application, educational system, students.

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ КОРПУСОВ ДЛЯ ПОРТАЛА ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Зайцев Константин Николаевич

Национальный университет «Высшая школа экономики»,
614070, Россия, г. Пермь, ул. Студенческая, 38, konstantzts@gmail.com

В статье представлено проектирование сервиса на основе архитектуры RESTful API, позволяющего работать с корпусным хранилищем. В качестве базы данных для корпусного хранилища была выбрана нереляционная система управления базой данных MongoDB на основе сравнительного анализа. Для документа, находящегося в корпусе, было проведено проектирование модели данных для достижения эффективного хранения и доступа к данным. В статье описывается взаимодействие клиентского приложения и сервера на облачном хранилище при помощи сервиса для работы с корпусным хранилищем. Для реализации RESTful API было представлено описание каждого метода сервиса и пути, по которому этот метод вызывается. Каждый метод отвечает за конкретную функцию формирования запроса к MongoDB. В качестве ответа пользователю предоставится либо статус-код, либо документ в зависимости от отправляемого запроса.

Ключевые слова: система управления корпусным хранилищем, NoSQL базы данных, RESTful API, микросервисная архитектура, хранилище данных.

Методы корпусной лингвистики активно используются для исследований естественного языка. Корпусная лингвистика опирается на понятие корпуса, являющийся множеством текстов, собранных по определённым критериям [1]. В связи с этим в данный момент разрабатывается система, работающая с текстами работ студентов на английском языке. В будущем планируется создавать на основе этих текстов учебные корпуса. Однако проблема системы состоит в отсутствии хранилища. Если для системы создать локальное хранилище корпусов, то может возникнуть ситуация с нехваткой ресурсов и ухудшением производительности по мере увеличения документов. Также существует проблема с разнородностью форматов корпусов. Поскольку корпуса создаются для определённых целей, то они могут иметь различную разметку. Примером различия аннотаций и форматов являются британский национальный корпус и национальный корпус русского языка.

Также некоторые лингвистические системы, например, ADWISER [2], не имеют собственного хранилища корпусов, либо же хранилище располагается на локальном диске. Примером такой системы, имеющей хранилище в локальной репозитории, является REALEC [3].

Данная статья предлагает решение проблем в виде создания унифицированного хранилища корпусов. В качестве используемого хранилища корпусов используется нереляционная база данных, MongoDB [6]. Система имеет клиент-серверную архитектуру. Для взаимодействия клиента и сервера предлагается использовать RESTful API. В качестве объекта исследования выступает обработка корпуса текстов, а предметом является инструмент хранения и управления хранилищем, являющимся сервисом с предоставляемым программным интерфейсом. Цель данной статьи – представить описание разработанного сервиса. Цель достигается при выполнении следующего списка задач: представление анализа

нереляционных БД, описание модели данных для хранилища и описание архитектуры системы, использующей разработанный программный интерфейс.

Выбор документоориентированного хранилища обусловлен тем, что корпуса являются коллекцией неструктурированных документов, что указывает на динамичность структуры корпусов. В реляционных базах данных добавление нового столбца может привести к проблемам, вплоть до того, что нужно будет пересоздавать таблицу или схему. В нереляционных базах данных такой проблемы нет из-за динамичности структуры. Более того, NoSQL базы данных работают с неструктурированными источниками информации намного быстрее, чем реляционные [7]. Также среди документоориентированных БД считаются MongoDB и CouchDB. Было проведен сравнительный анализ, который показал преимущества MongoDB над CouchDB. В табл. представлено сравнение хранилищ.

Таблица. Результат сравнения хранилищ

| | MongoDB | CouchDB |
|--|---|--|
| Хранение JSON-файла | Данные хранятся в BSON-формате | Данные хранятся в JSON-формате |
| Поддержка встроенных документов | Документ может быть встроен в другой документ | Нет возможности. Отношение документов можно задать ссылкой |
| Язык запросов к данным | Используется свой язык запросов MongoDB query, похожий на SQL | Отсутствует |
| Скорость обработки данных при операции добавления [8] | | |
| 5000 документов | ~10 с. | ~15 с. |
| 50000 документов | ~15 с. | ~200 с. |
| 500000 документов | ~100 с. | ~1400 с. |
| Скорость обработки данных при операции чтения [8] | | |
| 5000 документов | ~0.2 с. | ~0.2 с. |
| 50000 документов | ~0.5 с. | ~1 с. |
| 500000 документов | ~2 с. | ~9 с. |
| Хранимый объём данных [8] | | |
| 5000 документов | 25 Мб | 25 Мб |
| 50000 документов | ~30 Мб | 325 Мб |
| 500000 документов | ~100 Мб | 3793 Мб |

Каждый документ корпуса имеет общую структуру. Документ должен иметь уникальный идентификатор, название, автора, дату создания и коллекцию его версий. Версия является вложенным списком из документов, в которых определена информация о тексте. Помимо этого, у самой версии есть вложенный документ, отвечающий за комментарий. Поле «Annotation» отвечает за хранение разметки (семантической, синтаксической и т.д.). Такой способ хранения предполагает, что клиент будет производить обработку разметки и извлечение из неё важной информации. На рис. 1 представлена логическая схема документа корпуса.

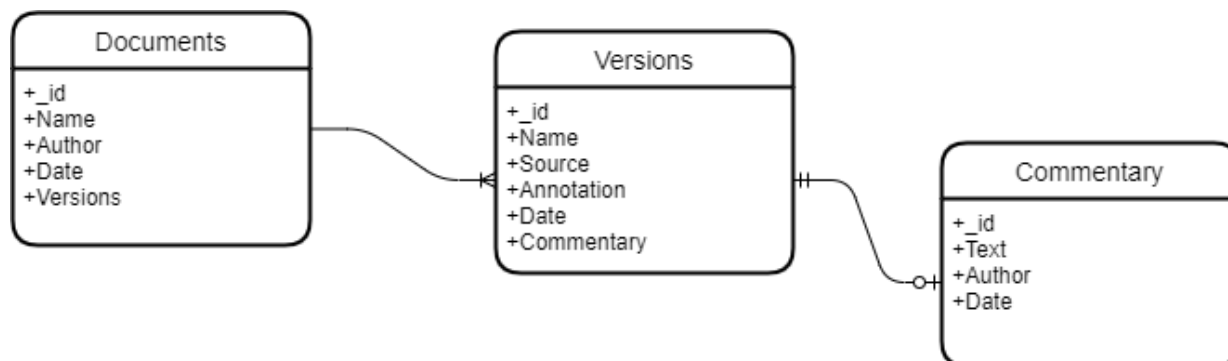


Рис. 1. Логическая схема документа в хранилище данных

На рис. 2 представлено взаимодействие клиента и сервера посредством использования сервиса для работы с корпусным хранилищем. Основная суть данного взаимодействия заключается в том, что клиент отправляет сервису запросы с помощью REST API. После получения запроса сервис преобразовывает полученные данные в запросы, поддерживаемые MongoDB. В результате клиент получает ответ в виде документа или статус-кода. Интерфейс поддерживает CRUD-операции над хранилищем корпусов.

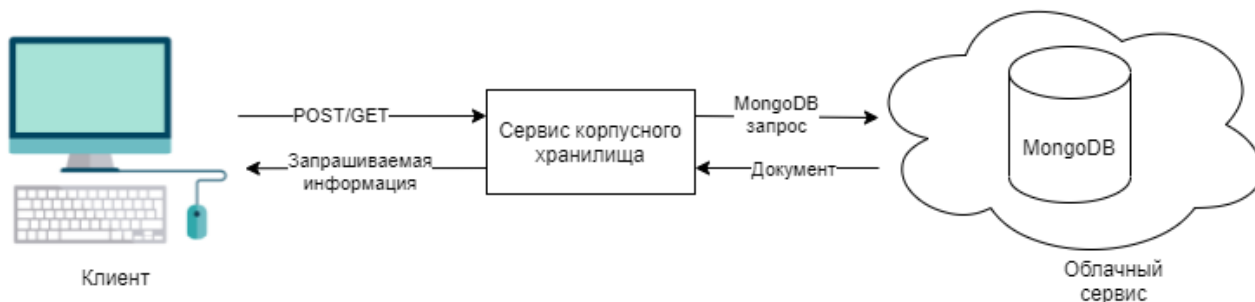


Рис. 2. Взаимодействие клиента и сервера

Система разработана на языке C#, для неё написаны интеграционные тесты, проверяющие корректность взаимодействия сервиса хранилища и клиента. Для их написания использовалась библиотека «XUnit». На рис. 3 представлен пакет интеграционных тестов.

| Тестирование | Длительность |
|----------------------------------|--------------|
| DocumentsControllerTests (12) | 3,3 с |
| DocumentsControllerTests (12) | 3,3 с |
| DocumentsControllerTests (5) | 1,6 с |
| Get_CorpusModel_WhenAddD... | 25 мс |
| Get_ListWithCorpusModels_Wh... | 1,5 с |
| Get_ListWithCorpusModels_Wh... | 13 мс |
| Get_ListWithTextFiles_WhenGet... | 23 мс |
| Get_StatusCode_WhenRemove... | 19 мс |
| VersionsControllerTests (7) | 1,7 с |
| Get_IntResult_WhenMarkText | 51 мс |
| Get_IntResult_WhenRemoveVer... | 23 мс |
| Get_TextFile_WhenAddVersion | 34 мс |
| Get_TextFile_WhenEditVersion | 45 мс |
| Get_TextFileModel_WhenAddC... | 28 мс |
| Get_TextFileModel_WhenChang... | 1,5 с |
| Get_TextFileModelResult_When... | 17 мс |

Рис. 3. Интеграционное тестирование сервиса хранилища

Каждый метод подробно описан с помощью библиотеки для автоматического создания документации «Swagger». После вызова каждого метода данные выводятся в формате JSON. На рис. 4 показан пример описания метода и формат выходных данных.

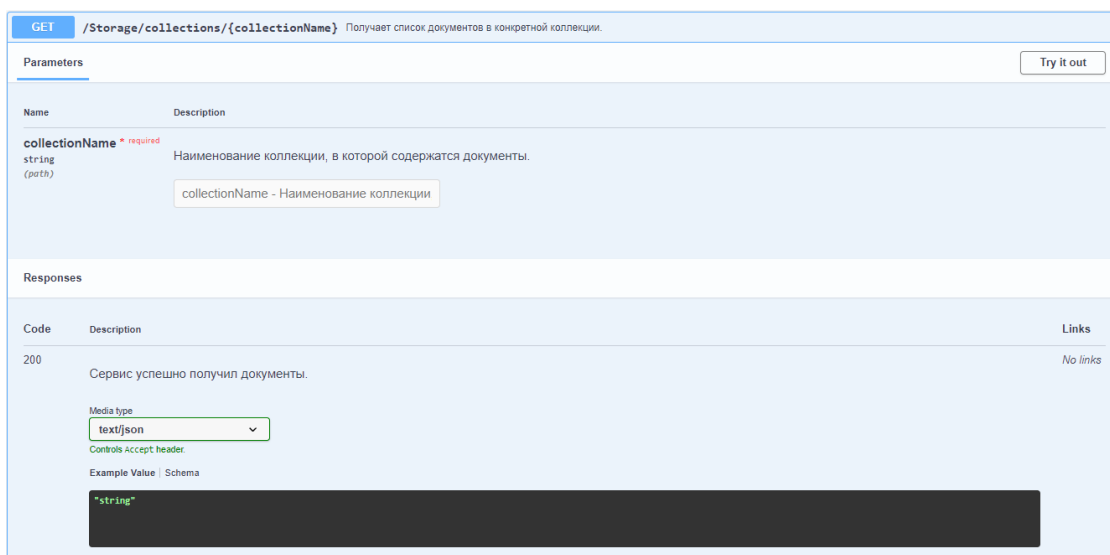


Рис. 4. Пример задокументированного метода

В данной статье была представлена архитектура системы. Статья показала, какая БД используется для хранения неструктурированных документов. Было представлено взаимодействие клиента с сервером посредством использования сервиса. Предполагается, что с помощью реализованного сервиса другие лингвистические системы смогут подключаться к хранилищам собственных корпусов. Для проверки будущего взаимодействия системы с другими лингвистическими сервисами написаны интеграционные тесты. Система находится в открытом доступе³³ и распространяется по лицензии GPL. Следующим этапом будет усовершенствование сервиса в плане реализации поддержки более сложных запросов к БД и интеграции к другим реализованным лингвистическим сервисам.

Библиографический список

1. Николаев И.С. Прикладная и компьютерная лингвистика / И.С. Николаев, О.В. Митренина, Т.М. Ландо. – М.: Ленанд, 2017. – 320.
2. ADWISER [Электронный ресурс] URL: <http://adwiser.pythonanywhere.com/>
3. REALEC [Электронный ресурс] URL: <https://realec.org/>
4. Nevzorova O., Mukhamedshin D., Gataullin R. Developing corpus management system: architecture of system and database // Proc. of Int. Conf. on Information and Knowledge Engineering (IKE). New York: CSREA Press. – 2017, P. 108-112.
5. Sanjurjo-González, H. Berri Corpus Manager: A Corpus Analysis Tool Using MongoDB Technology // Proc. of the 9th Int. Conf. Baltic HLT 2020. Amsterdam: IOS Press. – 2020, Vol. 328, P. 166.
6. The most popular database for modern apps | MongoDB [Электронный ресурс] URL: <https://www.mongodb.com/>
7. Gyorödi C., Gyorödi R., Pecherle G., Olah A. A Comparative Study: MongoDB vs. MySQL // 2015 13th Int. Conf. on Engineering of Modern Electric Systems (EMES). New Jersey: IEEE. 2015.
8. Henricsson R. Document Oriented NoSQL Databases A comparison of performance in MongoDB and CouchDB using a Python interface. Bachelor thesis. Blekinge Institute of Technology, Karlskrona, 2011.

³³ <https://github.com/Knzaytsev/CorporaStorageThesis>

CORPORA STORAGE SUBSYSTEM DESIGN FOR LINGUISTIC RESEARCH SYSTEM

Zaitsev Konstantin N.

HSE University, Studencheskaya str., 38, Perm, Russia, 614070, konstantzts@gmail.com

The article provides the microservice design based on the RESTful API architecture. This API allows users to work with corpora storage. The non-relational database management system MongoDB was chosen as the database for corpora storage. This choice is based on comparative analysis. For corpora documents, the article represents the data model design. The design is important for effective storage and access to the data. The article describes interaction using service with API between the client and the server located on the cloud. For RESTful API, the descriptions of each the service method and the route were given. Each method is responsible for a specific function of forming the MongoDB query. As a result of the query processing, the service responses status-code or the document. The result is based on the specific query.

Keywords: corpora storage management system, NoSQL databases, RESTful API, microservice architecture, data storage

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СЛОЖНОСТИ ТЕКСТА НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

Иксанова Алена Анваровна, Ланин Вячеслав Владимирович

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

С ростом количества и разнообразия текстовой информации возникает потребность проведения анализа больших объемов текстов с целью получения различной статистической информации. Комбинации полученных числовых параметров, таких как длина текста, количество сложных слов или средняя длина слов и предложений, могут послужить основой для оценки сложности текста. Чем глубже уровень оценки сложности текста, тем больше параметров нужно рассчитать, чтобы получить итоговый результат. Для небольшого текста это можно сделать вручную, но, когда стоит задача оценки сложности больших объемов текстовой информации, подсчет соответствующих метрик требует значительных временных затрат и становится очень трудоемким. Существуют различные подходы к оценке сложности текста. Одни основаны на разнообразии элементов текста и связях между ними, в других для подсчета используются математические формулы, учитывающие различные статистические параметры текста [1]. В данной работе рассматриваются способы оценки сложности текста и описывается процесс разработки системы оценки сложности текста на английском языке.

Ключевые слова: сложность текста, оценка сложности текста.

Способы оценки сложности текста на английском языке. Одним из приоритетных направлений современной корпусной лингвистики в области анализа текста является оценка его сложности. Прикладное значение оценки сложности текста достаточно широко: помимо учебных материалов, ее можно применять, например, для проверки разрабатываемой документации на соответствие определенному уровню или при написании статей, нацеленных на конкретную аудиторию.

Сложность текста (text complexity) – это характеристика, которая зависит от внутренних параметров текста и позволяет определить, насколько он легок к восприятию [2]. Некоторые лингвисты под сложностью текста понимают его удобочитаемость или читабельность (readability). Как правило, сложность текста основывается на трех характеристиках: количественные характеристики (quantitative features), качественные характеристики (qualitative features) и факторы читаемости текста (reader/text factors).

В отличие от качественных характеристик, к которым относятся, например, уровень образования, возраст и социальное положение читателя, количественные можно легко подсчитать. Такими характеристиками являются длина слов и предложений, количество слогов и сложных слов и другие. В данной работе более подробно рассмотрено определение синтаксической сложности текста.

Под синтаксической сложностью понимают раздел лингвистической сложности, направленный на изучение количества различных синтаксических структур и степени их сложности. Синтаксическая сложность текста, называемая также грамматической, делится на фразовую и клаузальную сложности. Первая основывается на количестве существительных и прилагательных, являющихся определениями существительного, вторая – на количестве

придаточных предложений в функции именной части сказуемого или обстоятельственных придаточных.

Существует несколько лингвистических исследований, в которых рассматриваются отдельные синтаксические конструкции, помогающие в определении грамматической сложности текста [3, 4]. Помимо отдельных конструкций, характеризующих синтаксическую сложность текста, исследователей интересовали их группы. В работе Ш. Стэйплз [5], посвященной изучению признаков клаузуальной сложности в академических текстах из различной предметной области, рассматривались финитные обстоятельственные клаузы (*finite adverbial phrases*), союзы между однородными клаузами, изъяснительные придаточные с союзом «that» (*that complement clauses*), а также придаточные с союзными словами на «wh-» (*wh clauses*). Выяснилось, что маркеры клаузуальной сложности особенно характерны для текстов из области гуманитарных, социальных наук и искусства, и имеют более низкую частотность в текстах естественнонаучной тематики.

Системы оценивания синтаксической сложности текста. Среди существующих систем для определения синтаксической сложности текста можно выделить Coh-Metrix Web Tool [6] и Web-based L2 Syntactic Complexity Analyzer [7]. Первый инструмент реализован для анализа текстов на традиционном китайском языке и работает с такими параметрами, как конкретность слов, синтаксическая простота, «относительная» и «глубинная» целостности текста, а также повествовательность.

Второй инструмент нацелен на работу с текстами на английском языке и может рассчитать до 23 различных числовых показателей синтаксической сложности текста, в том числе количество различных синтаксических структур. По результатам вычислений строится график, на котором отображены все выбранные пользователем метрики. Кроме этого, можно одновременно загрузить для анализа несколько текстов, что позволит сравнить различные показатели для них. Недостатком данного сервиса является ограничение максимальной длины текста – не более 1000 слов, а также отсутствие комментариев к рассчитанным числовым показателям, из-за чего неподготовленному пользователю будет сложно понять достоинства и недостатки проанализированного текста.

Разработка системы оценки сложности текста на английском языке. При анализе существующих систем оценивания синтаксической сложности текста было определено, что имеющиеся решения направлены в первую очередь на подготовленных пользователе-лингвистов, в то время как для других категорий пользователей данные, полученные в результате анализа, будут являться малоинформативными. Между тем, маркеры клаузуальной и фразовой сложности могут многое сказать об уровне владения языком. В связи с этим возникает необходимость создания универсального инструмента, который позволит пользователям, не имеющим подготовки в области лингвистики, проводить анализ синтаксической сложности текстов по заданным маркерам и получать комментарии, поясняющие итоговые результаты.

Разрабатываемая система будет предназначена для лингвистов, преподавателей английского языка и студентов, изучающих его. Поскольку у большинства потенциальных пользователей нет необходимости работать с данной системой постоянно, она будет реализована в виде веб-приложения, к которому пользователь сможет обратиться в любое время, имея только один из современных браузеров и стабильный доступ в интернет.

Система для анализа синтаксической сложности текста на английском языке разрабатывается в рамках научно-учебной лаборатории учебных корпусов, поэтому требования к набору маркеров синтаксической сложности, которые необходимо реализовать, были предъявлены лингвистами из данной лаборатории.

Для определения функциональных требований к разрабатываемой системе была построена диаграмма прецедентов (см. рис. 1).

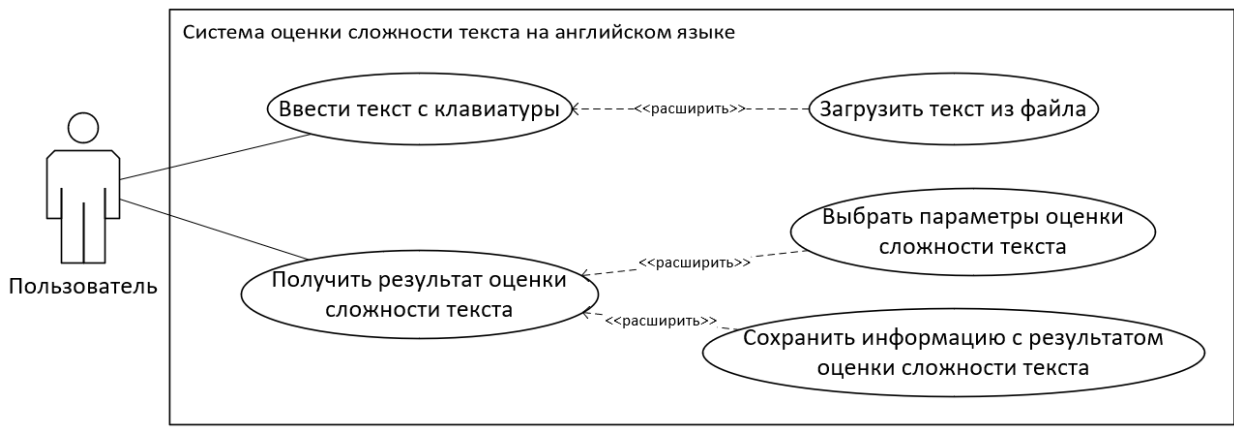


Рис. 1. Диаграмма прецедентов системы оценки сложности текста

Далее было произведено проектирование системы. Так как разрабатывалось веб-приложение, была применена архитектура MVC, которая позволяет разбить логику приложения на три независимых составляющих – модели, представления и контроллеры, обеспечивая взаимосвязь между ними.

Классы системы, изображенные на рисунке 2, разделены на слои контроллеров, сервисов и моделей. В слое контроллеров находятся контроллеры для текста и статистик. Сервисный слой содержит сервис текста, а также сервис для работы с библиотекой GATE Embedded. В слое моделей находятся классы предметной области (текст, текстовый узел, аннотации и статистики). Также на диаграмме указан интерфейс «CorpusController», который используется для обработки текста GATE программой [8], разработанной отдельно, а затем подключенной к системе анализа сложности текста.

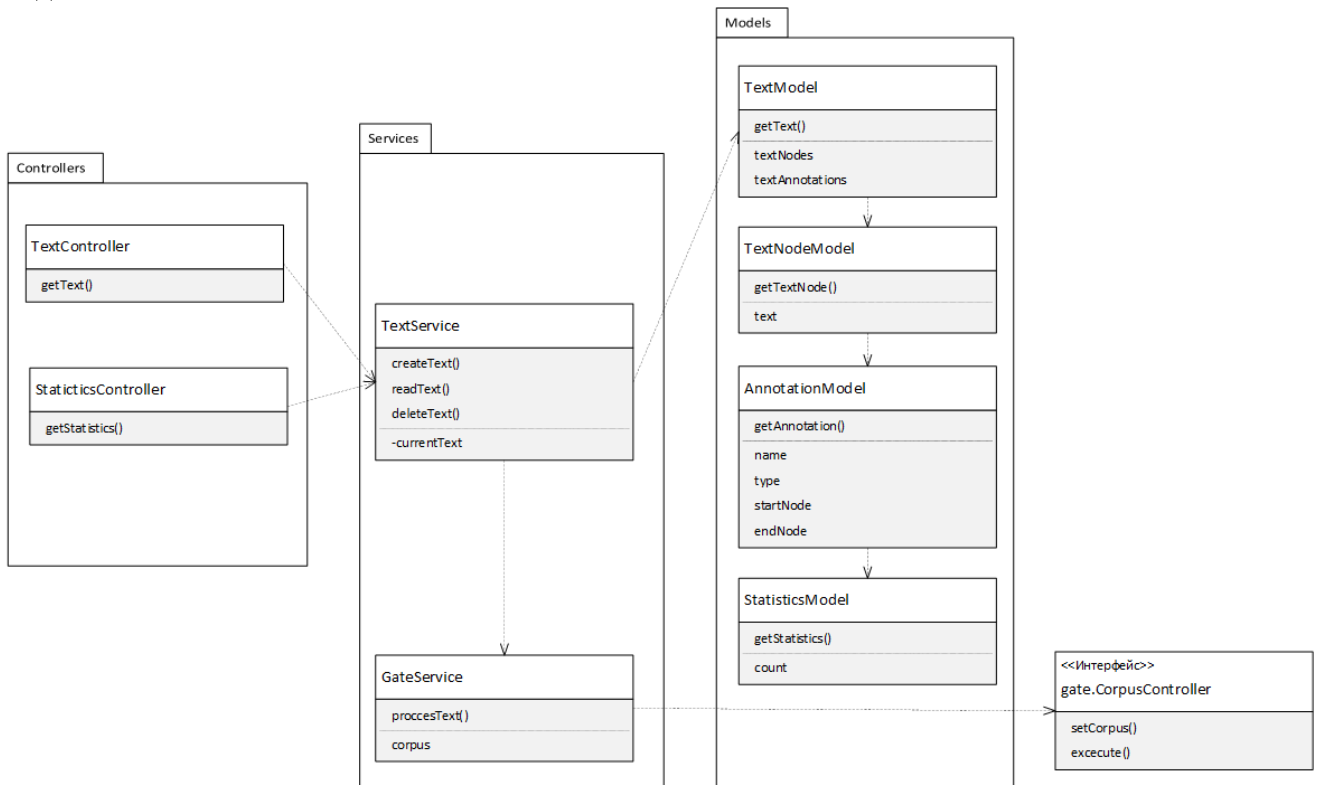


Рис. 2. Диаграмма классов серверной части

Для клиентской части реализовано одно представление, которое ответит за отображение всей необходимой информации пользователю. Представление содержит элементы управления, запросы от которых передаются в контроллеры, относящиеся к серверной части.

При определении функциональных требований к разрабатываемой системе для реализации были выбраны следующие маркеры клаузуальной сложности:

- финитные наречные клаузы (finite adverbial clauses),
- изъяснительные придаточные с союзными словами на «wh-» (wh complement clauses)
- глагол и относительное придаточное с союзом «that» (verb + that clause);

Среди маркеров фразовой сложности были выделены:

- существительные (nouns),
- атрибутивные прилагательные (attributive adjectives),
- существительные в позиции определения (premodifying nouns),
- родительный падеж с союзом «of» (of genitives).

Для каждого из указанных маркеров синтаксической сложности текста был разработан соответствующий лексико-синтаксический шаблон на языке JAPE (Java Annotation Pattern Engine), позволяющем анализировать текст с помощью регулярных выражений. Например, для поиска в тексте существительных (nouns), было разработано JAPE-правило, представленное на рисунке 3.

```
Phase: Nouns
Input: Token
Options: control = all

Rule: Nouns
(
{Token.category == "NN"}|{Token.category == "NNS"}|
{Token.category == "NNP"}|{Token.category == "NNPS"}
): label
-->
:label.Nouns = {rule= "Nouns" }
```

Рис. 3. JAPE правило для поиска «nouns»

Следующим шагом в среде GATE Developer было реализовано GATE-приложение, которому на обработку будет передаваться текст, введенный пользователем. При компоновке приложения использовались как стандартные плагины GATE, так и ранее разработанные JAPE-шаблоны.

Далее на языке программирования Java с использованием фреймворка Spring Boot была реализована система [9], позволяющая загружать текст из файла, выбирать параметры оценки и сохранять результаты оценки сложности текста на английском языке.

Заключение. Разработанная система позволяет пользователям анализировать синтаксическую сложность текста, используя маркеры клаузуальной и фразовой сложности. По результатам анализа выводится количество каждого из маркеров в тексте, а также выводится небольшой комментарий по возможному повышению качества текста (см. рис. 4). На данный момент комментарий основывается только на соотношении количества маркеров клаузуальной и фразовой сложности, обнаруженных в тексте: чем больше маркеров фразовой сложности относительно маркеров клаузуальной сложности, тем на более профессиональном уровне написан текст. В дальнейшем в рамках работы научно учебной лаборатории учебных корпусов планируется усовершенствовать инструмент рекомендаций. Для этого с помощью разработанной системы будет проанализирован экспертный корпус текстов на английском языке, выявлены закономерности зависимости числовых показателей от уровня владения языком, после чего будет разработана более гибкая система формирования рекомендаций по усовершенствованию качества написанного текста.

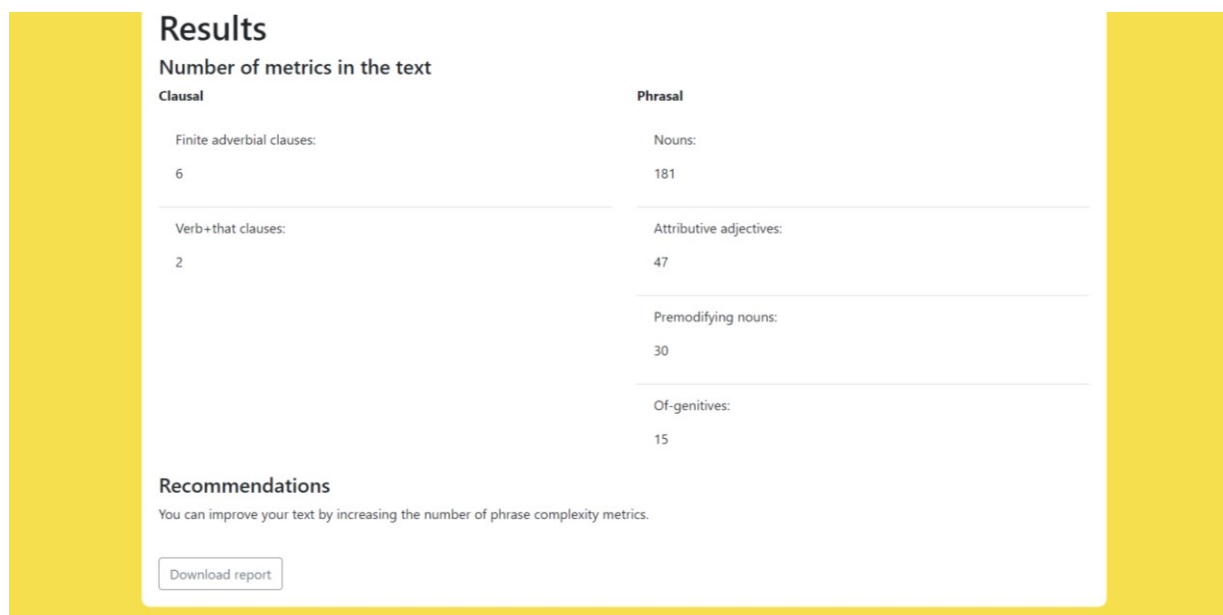


Рис. 4. Представление результатов анализа сложности текста в разработанной системе

Библиографический список

1. Мизернов И.Ю., Гращенко Л.А. Анализ методов оценки сложности текста // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2015. №18, С. 572-581.
2. Koda K. Insights into second language reading // Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 344p.
3. Warchal, K. Moulding interpersonal relations through conditional clauses, consensus-building strategies in written academic discourse, // Journal of English for Academic Purposes, 2010 vol. 9, pp. 140–150.
4. Siepmann, D., Gallagher, J.D., Hannay, M. and Mackenzie, J.L. Writing in English: A guide for advanced learners, // A. Francke Verlag, Tübingen, Germany, 2011.
5. Staples, S., Egbert, J., Biber, D. and Gray, B. Academic writing development at the university level: Phrasal and clausal complexity across level of study, discipline, and genre, // Written Communication, vol. 33, no. 2, 2016, pp. 149–183.
6. Coh-Metrix [Электронный ресурс]. URL: <http://www.cohmetrix.com/> (дата обращения 12.09.2021).
7. Web-based L2 Syntactic Complexity Analyzer [Электронный ресурс]. URL: <https://aihaiyang.com/software/l2sca/single/> (дата обращения 12.09.2021).
8. GATE.ac.uk – index.html [Электронный ресурс]. URL: <https://gate.ac.uk/> (дата обращения 10.09.2021).
9. GitHub – iksanovaaa/text-complexity-analyzer: Text complexity analyser (clausal and phrasal complexity) [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/iksanovaaa/text-complexity-analyzer> (дата обращения 12.09.2021).

DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR COMPLEXITY ASSESSMENT OF ENGLISH TEXT

Iksanova Alena A., Lanin Viacheslav V.

HSE University, 38, Studencheskaya st., Perm, 614070, Russia, vlanin@live.com

With the increasing quantity and variety of textual information, there is a need to analyze large volumes of texts in order to obtain different statistical information. Combinations of the resulting numerical parameters, such as text length, number of compound words or average word and sentence length, can serve as the basis for text complexity estimation. The deeper the level of text complexity estimation, the more parameters need to be calculated to obtain the result. For small text, this can be done manually, but when the task is to estimate the complexity of large amounts of textual information, calculating the relevant metrics is time-consuming and very time-consuming. This paper discusses text complexity estimation methods and describes the process of developing a system for complexity assessment of English text.

Keywords: text complexity, complexity assessment of the text.

МУЛЬТИПЛИКАЦИЯ И ОБУЧЕНИЕ МАТЕМАТИКЕ

Корепанова Надежда Александровна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 24, nadyhinapo4ta@mail.ru

В статье рассматривается одно из решений проблемы, связанной с отсутствием познавательного интереса у подрастающего поколения. Возможно, создание обучающих мультфильмов в учебном процессе повысит вовлечённость учащихся. В статье отражены достоинства обучающего анимационного фильма. Описывается влияние мультфильмов на развитие и способности учащихся. Представлен ряд образовательных задач, которые решает целесообразное использование воспитательно-развивающих возможностей анимационных фильмов по С.В. Шариповой. Приведено описание содержания созданного мультфильма «Математика в повседневности», в котором показаны примеры жизненных ситуаций, связанных с использованием в речи математических выражений. Целью мультфильма является повышение интереса школьников к изучению математики. В статье также представлены содержание и тематический план элективного курса «Математика в мультфильмах» для 5 – 6 классов, при изучении которого ребята научатся создавать обучающие мультфильмы по темам школьного курса математики.

Ключевые слова: обучение математике, мультипликация, образование

Сегодня в российском образовании особое значение приобретает проблема, связанная с отсутствием познавательного интереса у подрастающего поколения. В настоящее время вопрос формирования устойчивых положительных мотивов у школьников актуален в педагогике и психологии. В силу своего возраста школьники недооценивают значение и важность учебы. Возможно, создание обучающих мультфильмов в учебном процессе повысит вовлечённость учащихся. Целью создания мультипликации является повышение внимания учеников для улучшения их мотивации. Детское внимание, подчеркивал Л.С. Выготский, основывается главным образом на интересе. Младшие школьники способны удерживать внимание на интеллектуальных задачах, но это краткосрочно и необходимы огромные усилия воли и высокая мотивация. Д. Б. Эльконин отмечает, что возрастная особенность младших школьников – сравнительная слабость произвольного внимания. Все новое, неожиданное, яркое, интересное само по себе привлекает внимание детей. Мультипликация стимулирует интерес к учёбе, повышает мотивацию к познавательному процессу, увеличивает эффективность самостоятельной работы учеников [1]. Также можно предложить детям сделать самим мультфильм на определенную тему по данному предмету. Отметим, что овладение способами создания мультипликационных фильмов приводит к разностороннему развитию ребёнка, активизирует познавательный интерес, формирует эмоционально положительное отношение к творческому процессу создания мультипликационных фильмов. Изучая мультипликацию, дети реализуют свои способности в литературе, рисовании, различных видах прикладного искусства, музыке, речевом развитии, технике и изучении информационных компьютерных технологий [3].

Шарипова С.В., описывая влияние мультипликации, говорит, что целесообразное использование воспитательно-развивающих возможностей мультфильмов позволяет решать ряд образовательных задач:

- обогащает представление об окружающем мире, знакомит с новыми словами, явлениями, ситуациями;
- демонстрирует примеры поведения, что способствует социализации учеников;
- формирует оценочное отношение к миру, развивает мышление, понимание причинно-следственных связей;
- развивает эстетический вкус, чувство юмора;
- помогает реализовать эмоциональные потребности [2].

Использование мультипликации возможно не только в гуманитарных науках, но и в точных, таких как математика, физика и т.д.

Так нами для примера разработан мультфильм «Математика в повседневности». В нём показаны примеры жизненных ситуаций, где используются математические выражения. Целью мультфильма является популяризация математики среди школьников.

Задачи мультфильма:

1. Повышение внимания учащихся;
2. Демонстрация взаимосвязи математики и повседневной жизни.

Для его создания нами было проанализировано 80 выражений, содержащих математическую терминологию и употребляющихся в повседневной жизни, такие как «кругом голова», «предел терпения», «радикальные перемены» и т.д. Затем были выбраны несколько наиболее часто встречающихся в речи выражений и на их основе создан мультфильм. Данный мультфильм в трёх программах: adobe illustrator, adobe after effects, adobe premiere pro. В adobe illustrator сделана картинка, после в adobe after effects созданы анимации для картинки и в adobe premiere pro собраны разные сцены мультфильма, добавлены озвучка и спецэффекты. Программы просты в использовании, у них понятный интерфейс. Мультфильм может быть применен в рамках уроков математики в школах и колледжах, а также в рамках дополнительного математического образования. Например, в 6 классе, когда учащиеся решают практические задачи. Такая форма подачи материала позволит обеспечить более интересное и наглядное представление данной темы. К сожалению, мультфильм может повысить вовлеченность учащихся ненадолго. Но если предложить школьникам самим создать мультфильм на материале математики, то это может пробудить глубокий интерес к предмету. В рамках дополнительного образования нами разработан элективный курс «Математика в мультфильмах». Данный курс повышает познавательную мотивацию обучающихся и их вовлеченность в процесс изучения.

Задачи курса:

- знакомство учащихся с программами для создания мультфильмов;
- углубление и расширение знаний по математике;
- формирование межпредметных связей;
- внедрение междисциплинарного подхода к научному познанию.

Место и роль курса в обучении. Предлагаемый элективный курс является межпредметным с преобладанием одной дисциплины (математика). Он разработан для учащихся 5 – 6 классов. Основная задача курса – развитие творческого мышления, коммуникативных качеств, интеллектуальных способностей и нравственных ориентиров личности в процессе создания обучающих мультфильмов по темам математики. Данный курс позволит удовлетворить познавательные потребности учащихся. В процессе изучения данного элективного курса ученики овладеют новыми знаниями и способами деятельности, получат возможность практического применения своих интеллектуальных способностей. Данный курс станет средством перехода от обучения учащихся к их самообразованию.

Сроки реализации. Курс рассчитан на 1 четверть и включает в себя 7 встреч по 60 минут.

Предполагаемы результаты.

Предметные:

- умения использовать adobe illustrator, adobe after effects, adobe premiere pro;
- знания теории по математике.

Личностные:

- формирование ответственного отношения к учению, готовности и способности обучающихся к саморазвитию и самообразованию на основе мотивации к обучению и познанию;
- формирование коммуникативной компетентности в общении и сотрудничестве со сверстниками в процессе образовательной, учебно-исследовательской и творческой деятельности.

Метапредметные:

- умения составлять план деятельности;
- владение навыками проектной деятельности.

Инструментарий для оценивания. Оценивание достижения планируемых результатов состоит из промежуточных и итогового контролей, которые будут в виде выполнения продуктивных заданий и создания проекта.

Содержание курса. В содержании курса выделены следующие этапы (см. табл.):

Таблица. Содержание элективного курса «Математика в мультфильмах»

| | Тема | Количество часов |
|---|------------------------------|------------------|
| 1 | Выдумка персонажей | 1 |
| 2 | Создание анимации | 1 |
| 3 | Соединение сцен в мультфильм | 1 |
| 4 | Добавление текста | 1 |
| 5 | Добавление озвучки | 1 |
| 6 | Добавление спецэффектов | 1 |
| 7 | Окончание проекта | 1 |

В процессе изучения курса учащиеся овладеют основными программными средствами для работы с векторной графикой и приобретут практические навыки работы с программными продуктами векторной графики. Рассмотрим этапы подробнее.

1. *Выдумка персонажей.* Данный этап носит ознакомительный характер и является введением ко всему курсу. Цель данного этапа – познакомить учащихся с интерфейсом программ.

2. *Создание анимации.* Школьники делают в adobe after effects анимацию персонажам и сценам в мультике.

3. *Соединение сцен в мультфильм.* Ученики соединять все сцены мультфильма в adobe premiere pro.

4. *Добавление текста.* Учащиеся учатся вставлять текст в мультфильм.

5. *Добавление озвучки.* Данный этап включает в себя озвучку мультфильма и добавление звука к видео.

6. *Добавление спецэффектов.* Школьники добавляют в мультфильм спецэффекты.

7. *Окончание проекта.* Этап включает в себя просмотр мультфильмов учеников, обсуждение и конкурс.

В начале курса ученики выбирают групповой проект, который выполняют в течение всего курса, создавая мультфильм по одной из тем школьного курса математики: «Шар», «Окружность и круг», «Дроби» и т.п. Тему школьники выбирают на свое усмотрение. Работая в команде, ученики придумывают сценарий, связанный с математикой, персонажей,

делают анимацию, сцены мультфильма. В конце курса команды представляют результаты деятельности. Затем проводится конкурс на лучший обучающий мультфильм по темам школьного курса математики.

Данный элективный курс позволит школьникам не только научиться создавать обучающие мультфильмы, работать в команде над проектом, но и лучше усвоить математическое содержание и повысить интерес к изучению математики.

Библиографический список

1. *Бахметьев Д.А.* Создание учебного анимационного фильма как способ активации познавательной деятельности студентов // Вестник Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета, 2015. С. 19 – 23.
2. *Шарипова С. В.* Искусство мультипликации в работе с детьми дошкольного возраста // Пермский педагогический журнал, 2015. С. 143 – 145.
3. *Щечилина А.В., Савлучинская Н.В.,* Освоение мультипликации младшими школьниками в системе дополнительного образования как средство развития воображения // Вестник Омского государственного педагогического университета. Гуманитарные исследования, 2017. С. 125 – 128.

ANIMATION AND TEACHING MATHEMATICS

Korepanova Nadezhda A.

Perm State Humanitarian-Pedagogical University,
24, Sibirskaya st., Perm, 614990, Russia, nadyhinapo4ta@mail.ru

The article considers one of the solutions to the problem associated with the lack of cognitive interest in the younger generation. Perhaps the creation of educational cartoons in the educational process will increase the involvement of students. The article reflects the advantages of an educational animated film. The influence of cartoons on the development and abilities of students is described. A number of educational tasks are presented, which are solved by the expedient use of the educational and developmental capabilities of animated films based on S. V. Sharipova. The article describes the content of the created cartoon "Mathematics in everyday life", which shows examples of life situations associated with the use of mathematical expressions in speech. The purpose of the cartoon is to increase the interest of schoolchildren in studying mathematics. The article also presents the content and thematic plan of the elective course "Mathematics in cartoons" for grades 5-6, during which children will learn how to create educational cartoons on the topics of the school mathematics course.

Keywords: teaching mathematics, animation, education

КРОСС-ЯЗЫКОВОЙ ВЕБ-СЕРВИС ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ ТАКСОНОМИИ ЛЮБОГО ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА

Мальцев Никита Валерьевич

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Чупин Антон Викторович

Институт механики сплошных сред УрО РАН,
614013, Россия, г. Пермь, ул. Ак. Королёва, 1, chupin@icmm.ru

В работе предлагается подход по автоматическому построению семантической (на основе отношения гиперонимии) иерархии любого слова из любого языка. В качестве источника информации взят русский Викисловарь, который содержит достаточное число семантических связей для русских слов. Анализ слов других языков ведётся не только с помощью явно прописанных семантических отношений, но и с помощью перевода на русский и поиска отношений в статьях о русских словах. Итогом работы служит работающий в непрерывном режиме веб-сервис, который в полуавтоматическом режиме строит дерево таксономических отношений для любого заданного слова любого языка – <http://wikitologies-web.herokuapp.com>.

Ключевые слова: семантика, таксономия, гиперонимия, обход дерева, веб-сервис, Викисловарь.

В настоящее время содержательный анализ текстов и машинный перевод являются активно развивающимися областями компьютерной лингвистики. Несмотря на яркие прорывы нейросетевых технологий, они не в состоянии обеспечить доказательные результаты и плохо работают на маленьких объёмах материала, в частности для плохо изученных языков. Предлагается заполнить эти пробелы с помощью электронных словарей, содержащих семантическую информацию.

Целью работы является создание инструмента автоматизация нахождения (по возможности наиболее точного) общего понятия, что может помочь при отсутствии иноязычного аналога для выбранного слова. Этот инструмент предназначен для лингвистов, производящих семантический анализ, а также программистов, создающих инструменты такого анализа и сервисы машинного перевода. Предметом настоящей работы является гиперонимические связи (т.е. отношение типа «частное → общее») для произвольного языка для произвольного слова в автоматическом режиме (или близком к этому). Слова «произвольный» и «любой» в данной работе ограничены наличием в русском Викисловаре (на 1.10.21 – 610 языков и 442 556 лексические единицы русского языка).

Существует ряд электронных ресурсов, содержащих семантическую информацию о лексемах разных языков. Было проведено сравнение WordNet [2], BabelNet [3], PyTez [4], SUMO, YARN, OmegaWiki, Викиданных (Wikidata) [6] и русского Викисловаря [1], из которого сделан вывод о том, что при всей своей мощи, большинство ресурсов не предоставляют доступ к работе с большим количеством языков, однако существуют такие

задачи, где актуально применение даже малых естественных языков. Викисловарь при этом выделяется, предоставляя словарные статьи на более чем 600 естественных языках. Конкурентом в этом аспекте ему выступает ресурс Викиданные, поскольку оба принадлежат wiki-семейству и разделяют языковую базу, однако он проигрывает по наполняемости в силу молодости проекта. С другой стороны, информация в Викисловаре требует предварительной обработки, в то время как другие вышеописанные ресурсы сразу готовы к использованию.

Существуют разные методы построения таксономии естественных языков, источниками понятий и родовидовых связей в которых выступает не словарь, а базы данных, структурированные или неструктурированные тексты. Последний, в силу своей распространенности, видится наиболее перспективным. Так, в [7] выделяются два основных подхода выделения иерархических связей терминов из неструктурированных текстов – статистический подход и подход, основанный на лингвистических методах обнаружения потенциальных семантических связей. В [8] основными названы следующие методы – на основе морфо-синтаксических правил и на основе лексико-синтаксических шаблонов.

Мы будем использовать в качестве источника данных словарные статьи русского Викисловаря, поскольку в них уже содержится довольно много информации о многих словах, в том числе о семантических отношениях слов. Сначала необходимо преобразовать слабоструктурированные данные статьи в понятную компьютерной программе форму. Сделать это позволяет наличие определенной структуры и достаточно строгих правил форматирования, установленных сообществом Викисловаря. Одним из подходов при таких условиях является извлечение данных с помощью регулярных выражений [9]. Семантическая таксономия слова строится в виде дерева, простейшим вариантом построения которого является последовательное добавление связей от частного к общему на основе извлекаемых из словарных статей гиперонимов.

В качестве источника таксономической информации был выбран раздел семантических свойств в статьях, так как именно он содержит необходимую информацию о слове для построения таксономии. Сложностью может стать то, что многие статьи содержат сразу несколько значений слова, для каждого из которых представлен собственный список гиперонимов. Здесь, в частности, возникает проблема неоднозначности, ведь неясно, какое значение выбрать на этапе добавления очередной вершины, а такой выбор напрямую повлияет на то, в каком смысловом направлении продолжится построение текущей ветви дерева. Наличие шаблонов `{{значение}}` и `{{семантика}}` упрощает извлечение информации, так как списки семантических связей оказываются однозначно привязаны к соответствующим значениям, что позволяет обеспечить корректное соотношение.

Наша идея заключается в извлечении списка гиперонимов со всех страниц синонимов/переводов слова. Было разработано два режима добавления гиперонимов – с проверкой на наличие обратных связей («строгий») и без таковой («наивный», показал большую жизнеспособность) – см. рисунок 1.

Обильная наполняемость словарных статей русских слов, достаточная для построения многоуровневых таксономий, рождает идею использовать кросс-языковые отношения с целью связать иностранные словарные статьи с русскоязычными, таким образом значительно повысив доступный набор родовидовых связей для слов в языках с недостаточным наполнением за счет заимствования аналогичных связей у переводов этих слов на русский язык. Поиск потенциальных гиперонимов основывается на следующем утверждении: перевод некоторого понятия на другой язык является близким по значению к исходному понятию, поэтому гиперонимы переводов понятия на другие языки являются потенциальными гиперонимами этого понятия.

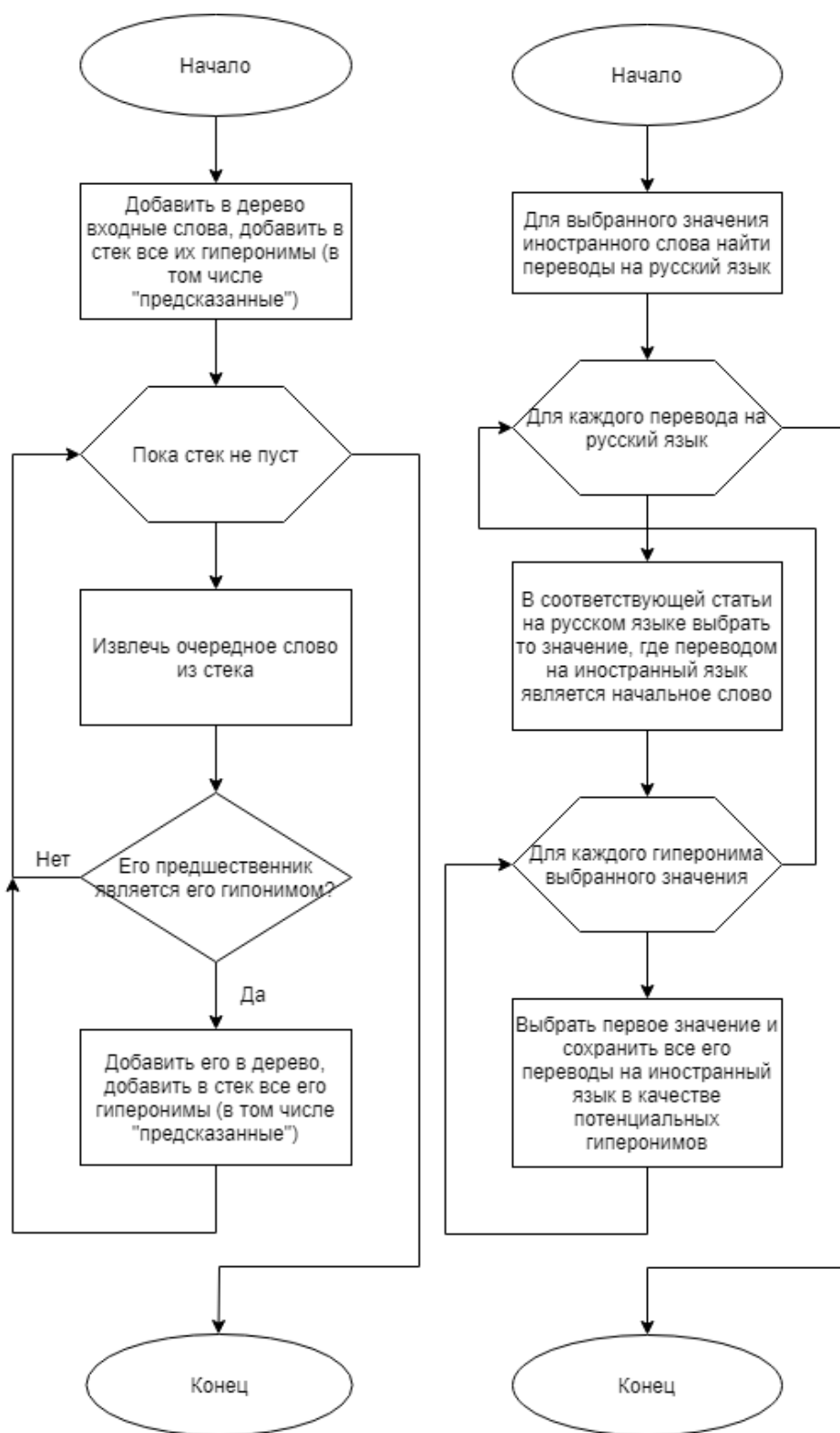


Рис. 1. Блок-схема алгоритма предсказания гиперонимов иностранных слов («строгий режим» слева, «наивный» режим справа)

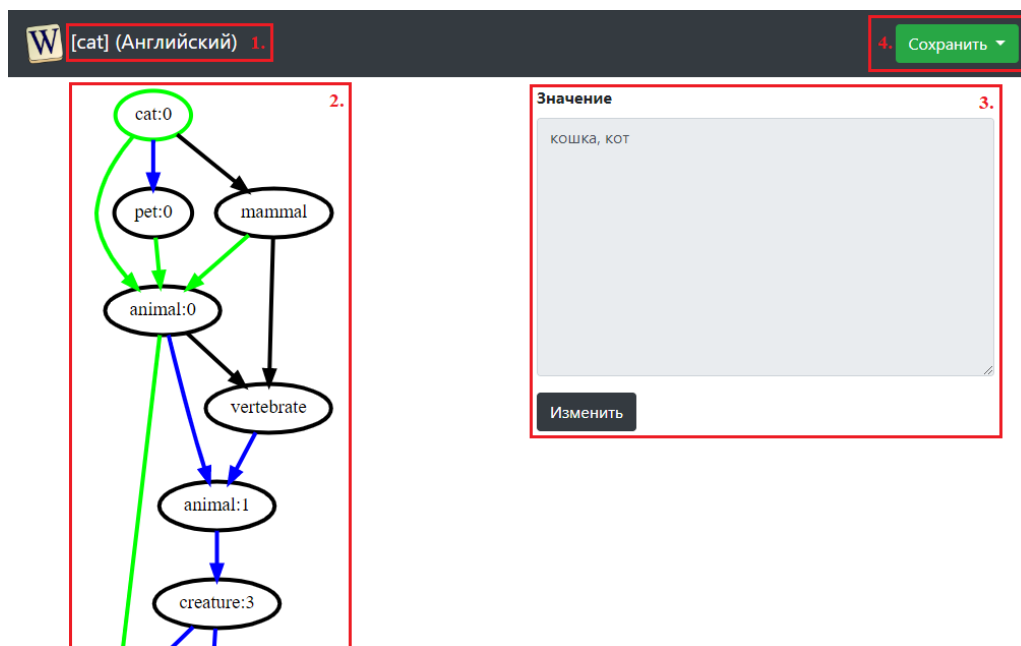


Рис. 2. Окно отображения построенной таксономии

В заключение: реализован кросс-языковой инструмент построения таксономии для лексики произвольного естественного языка wikilogies, состоящий из библиотеки wikilogies-core (golang), содержащей основную бизнес-логику приложения, и внешней оболочки wikilogies-web (HTML, CSS, JavaScript), реализованной в виде постоянно работающего сайта (см. рис. 2) на хостинге Heroku. Для построения визуализации таксономии в виде графа используется программа Graphviz, позволяющая сохранять построенные графы в таких форматах как .dot, .svg, .png. Сервис также использует промежуточное кеширование данных в хранилище (выбрана база данных типа key-value Redis), которое обновляется только в случае, если в словарной статье недавно выполнялись правки. Особенностью сервиса является также то, что все настройка выдаваемой таксономии может производиться через URL страницы, образуя таким образом простейший API. Пример выбора пятого значения через URL: <http://wikilogies-web.herokuapp.com/Hund@Немецкий?&волк:0->вид=5>. Таксономия строится автоматически, но качество полученного дерева страдает в случае наличия многозначности. Пока реализован только ручной способ корректировки дерева (выбор другого значения приведён на рис. 2, подробное описание возможностей интерфейса можно прочитать в описании на главной странице сервиса), в перспективе планируется более точный учёт цепочек значений в словарных статьях и учёт контекста слова в тексте. Использование развивающегося лексемного раздела Викиданных также позволит существенно улучшить качество нахождения гипероним. Также полнота дерева ограничена наличием информации в Викисловаре, что может быть решено дополнением соответствующих статей.

Библиографический список

1. Ван Я. Викисловарь как лексикографическое "зеркало эпохи" // Филологические науки. Вопросы теории и практики. 2018. № 79. С. 77-81.
2. Christiane Fellbaum, George A. Miller WordNet: An Electronic Lexical Database (Language, Speech, and Communication). A Bradford Book, 1998.
3. Navigli R., Ponzetto S. P. BabelNet: Building a Very Large Multilingual Semantic Network // Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. 2010.

4. *Добров Б. В., Лукашевич Н. В.* Тезаурус РуТез как ресурс для решения задач информационного поиска // Труды Всероссийской Конференции Знания-Онтологии-Теории (ЗОНТ-09), Новосибирск, Том.1. — Новосибирск, 2009. — С. 250–259.
5. *Б.В.Добров, Н.В. Лукашевич* Онтологии для автоматической обработки текстов: описание понятий и лексических значений // Труды международной конференции «Диалог 2006». Москва: 2006.
6. *Denny Vrandečić, Markus Krötzsch* Wikidata: A Free Collaborative Knowledgebase // Communications of the ACM. 2014. №57. pp. 78-85.
7. *Афонин С.А., Бахтин А.В.* Об одном методе построения гиперонимов с помощью внешней поисковой системы // Материалы Всероссийской конференции с международным участием "Знания – Онтологии – Теории" (ЗОНТ-2011). Новосибирск: Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, 2011. С. 14-24.
8. *Лагутина Н. С., Лагутина К. В., Мамедов Э. И., Пармонов И. В.* Методические аспекты выделения семантических отношений для автоматической генерации специализированных тезаурусов и их оценки // Моделирование и анализ информационных систем. 2016. №6. С. 826–840.
9. *Крижановский А.А.* Построение машинно-читаемого словаря на основе русского викисловаря // Труды СПИИРАН. 2009. № 11. С. 228-233.

CROSS-LINGUAL WEB-SERVICE FOR AUTOMATIC TAXONOMY GENERATION OF ARBITRARY NATURAL LANGUAGE

Maltsev Nikita V.

Perm State University,
15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

Chupin Anton V.

Institute of Continuous Media Mechanics,
Korolyova str.. 1, Perm, Russia, 614013, chupin@icmm.ru

We develop an approach for creating semantic (hyperonymic) hierarchy for any word in any language automatically. The source of semantic relations is Russian Wiktionary which contains enough of them for Russian words. Words in other languages are analyzed not only with direct semantic relations but additionally with the aid of translations into Russian. Perpetual free web-service for this was published – <http://wikitologies-web.herokuapp.com>.

Keywords: semantics, taxonomy, hypernymy, tree traversal, web-service, Wiktionary.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПРОГНОЗИРОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТА НА СОРЕВНОВАТЕЛЬНЫЙ СЕЗОН ДЛЯ ВЕЛОСИПЕДИСТА ПО ЕГО ТРЕНИРОВОЧНЫМ ДАННЫМ

Марквирер Владлена Дмитриевна

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

Сахипова Марина Станиславовна

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

Разработана нейросетевая модель, которая предназначена для выявления закономерностей и прогнозирования успешности выступлений велосипедиста на соревнованиях в предстоящем сезоне на основе различных функциональных параметров, снятых во время тренировок в подготовительном сезоне и прошлом соревновательном сезоне. Модель обучена на личных данных, перенесённых с бумажных носителей в электронный формат в табличном виде. На основе собранных данных были выявлены закономерности, которые отражают зависимость занимаемых мест на соревнованиях от подготовки спортсмена. На основе выявленных закономерностей нейросетевая модель имеет возможность дать прогноз выступлений на соревнованиях в предстоящем велосипедном сезоне на основе текущих тренировочных показателей и функциональных показателей по предыдущему соревновательному сезону. Модель строится в программе «Нейросимулятор 5.0» [1].

Ключевые слова: искусственный интеллект, нейронная сеть, прогноз, велосипедный спорт, спорт.

В любом виде спорта, чтобы достигнуть высоких результатов на соревнованиях различного уровня, необходимо тренироваться и совершенствовать свои функциональные и физические параметры, а также отслеживать состояние здоровья. В данной работе будет рассмотрена зависимость функциональных показателей, снятых во время тренировок или соревнований у одного из авторов данной работы, занимающейся велосипедным спортом. Тренера спортсменов, основываясь на личном опыте, выстраивают тренировочный процесс особым образом, чтобы подготовить спортсмена к планируемым соревнованиям. Тренер полагается на степень подготовленности велосипедиста по предыдущим сезонам: по результатам, показанным на каждом старте и по его прошлым и текущим функциональным параметрам (информация должна быть зафиксирована в дневник велосипедиста). Также тренер обращает внимание на предположительный состав участников возрастной группы спортсмена на следующий сезон, на их достижения в спорте за предыдущие периоды, что позволяет сделать некоторый прогноз на будущий сезон, выстроить грамотно подготовку своего спортсмена, поставить цели на сезон.

Зачастую спортсмены, становясь старше, переходят в другие более перспективные и сильные команды или продолжают заниматься самостоятельно. Для таких категорий спортсменов наличие сведений о прошлых годах подготовки является ещё более актуальным и необходимым. Если велосипедист собирал информацию и фиксировал её в своих

дневниках, то переход в другую команду или в самостоятельный режим получится «плавным и безболезненным», то есть не приведёт к ухудшению результатов, потере спортивной формы и непониманию целесообразности продолжения подготовки к будущим стартам. Данную информацию будет анализировать новый тренер, основываясь уже на своём опыте и знаниях, либо лично сам спортсмен. Следовательно, существует проблема сохранения набранной спортивной формы и мотивации велосипедиста при переходе на новый уровень подготовки.

Данную проблему может решить формализация сведений о пройденных этапах подготовки, выступлений в соревнованиях, а также создание инструмента-помощника в предсказании мест на будущих стартах – для сохранения и повышения уровня мотивации. Предсказание должно основываться на анализе сведений прошлых лет с тренировок и соревнований, подобно тренеру. Анализ записей позволит в дальнейшем проводить корректировку тренировочного процесса для достижения более высоких результатов.

Одной из подходящих технологий для этой задачи является технология искусственного интеллекта, т.к. нейросети, лежащие в его основе, призваны имитировать деятельность головного мозга: обобщение, обучаемость, формирование синоптических связей [2-4]. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Стоит отметить, что существует множество работ по спортивной тематике [5-7], в которых построенные нейросетевые модели имеют высокую точность обучения и тестирования, позволяющие делать предсказания отдельным спортсменам [5, 6] или командам [7] для достижения определённых результатов на Чемпионатах Европы и Мира. В работах [5-7] рассматриваются модели нейросети для предсказания, построенные по следующим параметрам:

- антропометрическим: возраст, рост, вес, развитость мускулатуры;
- статистическим: количество медалей на прошлых стартах, наличие мирового рекорда в истории спортсмена, имеются ли в составе лучшие игроки по версии какого-либо источника;
- а также принадлежность спортсменов стране, религии, расе и т.п.

Несмотря на такой необычный набор входных параметров для нейросетевой модели, получились удивительные по точности результаты, приводящие к реальному либо очень близкому к реальности результату. Это даёт основание предположить, что использование нейросети, обученной подобным параметрам, может дать интересный прогнозный результат для мест, которые можно занять на соревнованиях. Отличительной особенностью данного исследования является то, что имеется большой набор записей по тренировкам и соревнованиям о функциональном состоянии велосипедиста, именно эти параметры будут использованы в качестве входных для нейросетевой модели. Целью данной работы является построение нейросетевой модели для получения прогнозов результатов соревнований на предстоящий сезон.

В данной работе для построения нейронной сети использовался инструмент «Нейросимулятор 5.0» [1], а само построение сети выполнялось согласно рекомендациям профессора Пермского классического университета, развивающего идеи искусственного интеллекта, Л.Н. Ясницкого [5-9], а также других экспертов [10].

Для построения и обучения нейросети использовались личные данные из дневников велосипедиста, заполняемых непосредственно по проведённым тренировкам и соревнованиям. В качестве входных данных был выбран набор, состоящий из девяти параметров: период года (1 – межсезонье, 2 – сезон перед краевыми соревнованиями, 3 – сезон перед российскими соревнованиями); тип тренировки (1 – шоссе, 2 – мтб, 3 – плавание, 4 – лыжи, 5 – ОФП, 6 – станок (спокойно), 7 – станок (темповая работа), 8 – станок (ускорения), 9 – станок (темп + ускорения), 10 – станок (реостат), 11 – бег); максимальный пульс; средний пульс; расстояние; максимальная скорость; средняя скорость; оценка самочувствия (0-10); количество участников предстоящих соревнований.

На выход нейронной сети подаётся один нейрон – место, занятое на соревнованиях через некоторое время после проведённой тренировки. Считается, что «если сегодня тренировался плохо или не тренировался вообще, то через полгода на гонке проиграешь». В качестве основного правила было взято это выражение. Выходной параметр для обучения нейросети указывался следующим образом: каждой записи, начиная с первой, последовательно чередуются занятые места на соревнованиях прошлого сезона. Когда все места распределены, а записи для обучения ещё есть, процесс повторяется, пока не заполнятся все выходы для всех записей, поданных на вход. Решено использовать данный подход, потому что велосипедному виду спорта присуща цикличность, поэтому каждая следующая тренировка влияет на каждый следующий старт. Для тестовой выборки результаты распределялись аналогично выборке для обучения. Прогнозная выборка показывала новые результаты по предстоящим стартам, которые интерпретировались аналогично.

Всего в обучающей выборке получилось 522 записи, в тестовой – 93, а в выборке для прогноза на будущий сезон – 200. Спроектированная нейросеть содержит 29 нейронов на скрытом слое по теореме Арнольда – Колмогорова – Хехт-Нильсена [3, 4]. Выбраны следующие активационные функции:

- сигмоидная (для входных нейронов и скрытого слоя);
- тангенс гиперболическая (для выходного нейрона).

Обучение нейросетевой модели по выставленной конфигурации проводилось с использованием алгоритма быстрого распространения ошибки. Ошибка обучения составила 5,86%, ошибка тестирования (обобщения) – 6,62%. Такие значения ошибок являются лучшими (наименьшими) по всем исследуемым конфигурациям модели, при которых менялись различные параметры сети: количество нейронов на скрытом слое, количество скрытых слоёв, активационные функции, алгоритмы обучения.

После обучения нейросети была выполнена проверка на адекватность (соответствуют ли полученные результаты работы нейросети ожидаемым). Минимальная погрешность в вычислениях составила 6,62% (рис. 1), что является достаточным, чтобы говорить о том, что нейронная сеть «усвоила» зависимости моделируемых процессов. Таким образом, можно использовать эти закономерности для получения прогноза или рекомендаций по изменению тренировочного плана для достижения более высоких результатов (перспективная задача).

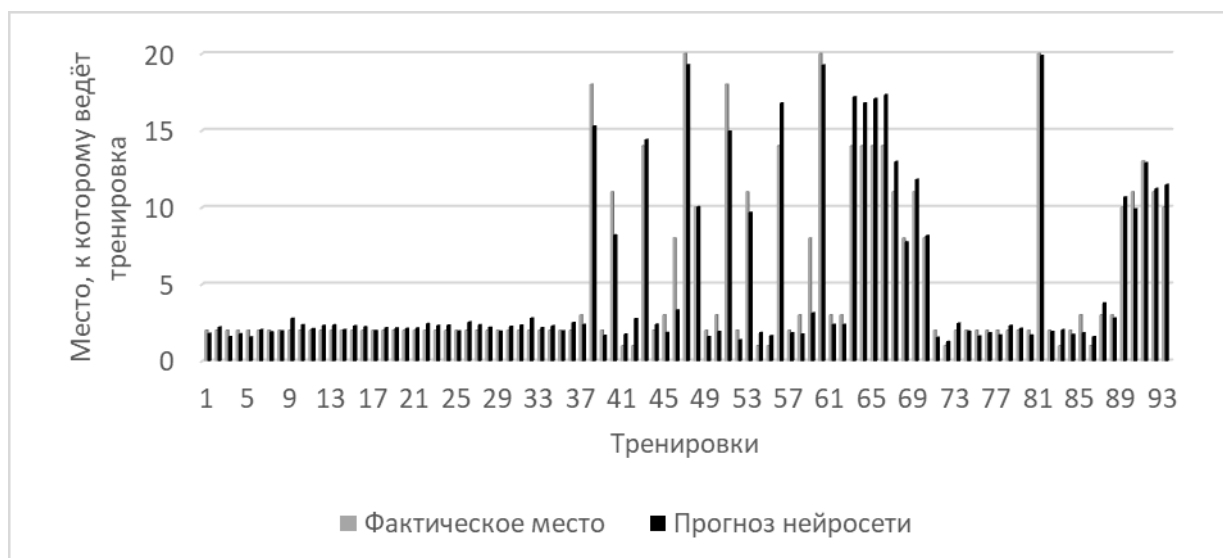


Рис. 1. Проверка адекватности нейросети

Также были получены данные о значимости параметров для обучающей и тестирующей выборки (см. рис. 2). Наиболее значимым стал параметр количества участников на соревновании, то есть при небольшом изменении значения этого параметра результат прогноза может сильно измениться. Поэтому его изменение должно быть контролируемым в строго определённых начальных диапазонах. Иначе предсказываемое место на соревновании может выходить за границы реального количества участников.

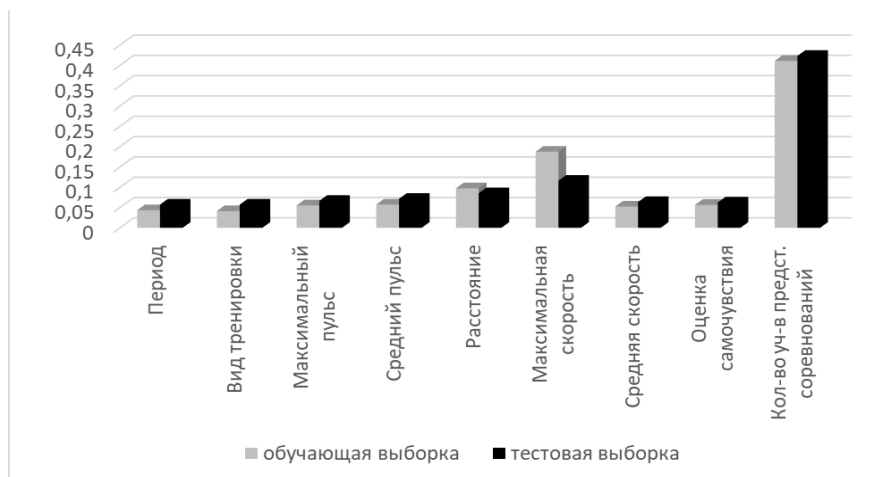


Рис 2. Значимость параметров

В завершение работы с построенной моделью был дан прогноз на будущий сезон по текущим показателям велосипедиста (рис. 3) В данной статье представлены прогнозы на восемь предстоящих соревнований (названия соревнований специально скрыты под номерами 1-8), однако прогнозирование в действительности было выполнено на весь сезон. Результаты прогнозирования были усреднены: получено по 5 оценок на один и тот же старт, так как в прогнозной выборке всего 200 записей, а планируется 40 стартов в будущем сезоне. Получается, что каждый сороковой результат относится к оценке результата выступления по одному из запланированных стартов.

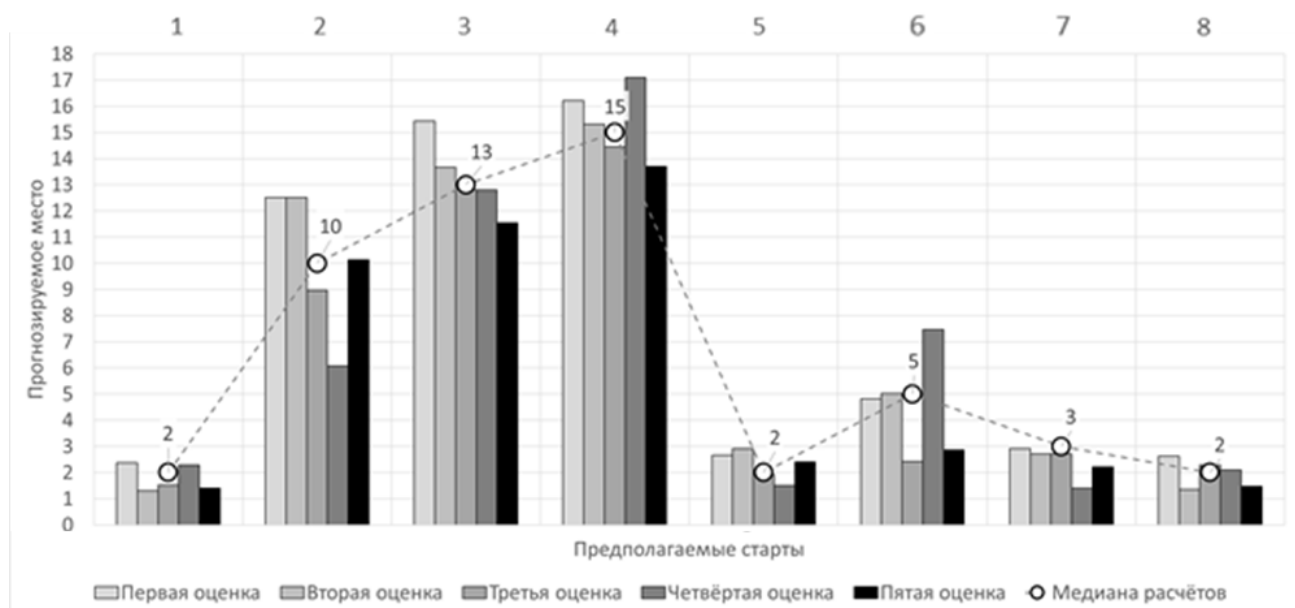


Рис. 3. Прогноз на показателях спортсмена на тренировках и в прошлом сезоне

В результате работы построена модель нейросети для предсказания результатов соревнований на будущий сезон для велосипедиста. Перед построением модели большое количество данных (815 записей) были переведены вручную в электронный вид. Принято решение о том, как можно интерпретировать влияние тренировок на результат соревнований, как это отобразить в выборках и использовать для прогнозов. Модель нейросети спроектирована на основе рекомендаций из указанных в работе источников и протестирована.

После завершения сезона, на который строился прогноз, было проведено сравнение полученных прогнозных данных от нейросети и реальных результатов соревнований. В пяти случаях из восьми, представленных в данной работе, реальные результаты оказались такими же или лучше предполагаемых (см рис. 4). Среди всех прогнозных данных более 80% совпали с реальными. Данный факт говорит о том, что правильно построенные нейросети могут спрогнозировать результат с высокой точностью, что позволит спортсмену ориентироваться на прогнозы в подготовке к гоночному сезону.

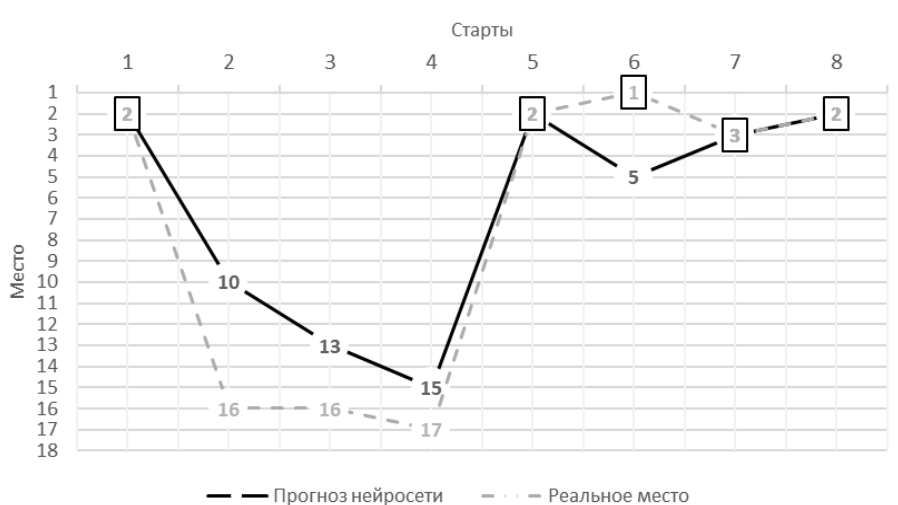


Рис. 4. Сравнение с реальными результатами

Велосипедист, использующий полученную нейросетевую модель, может проводить тренировки качественно, обращая внимание на измеряемые показатели. Спортсмен может видеть по прогнозным данным, есть ли прогресс после каждой тренировки, меняется ли возможный результат в лучшую сторону. Так спортсмен может мотивировать себя и поддерживать, и улучшать набранную спортивную форму. Стоит отметить, что периодически спортсмену нужно дополнять обучающую выборку новыми данными после очередного сезона и переобучать модель, чтобы на каждый следующий сезон модель давала более точный результат и «изучала» динамику спортсмена.

Библиографический список

1. Черепанов Ф.М., Ясницкий Л.Н. Нейросимулятор 5.0. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014618208. Заявка Роспатент № 2014614649 // Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 12 августа 2014 г.
2. Галушкин А.И. Нейронные сети: основы теории. М.: Горячая линия Телеком, 2012. С. 496.
3. McCulloch W.S., Pitts W. A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity // Bull. Mathematical Biophysics. 1943. Vol. 5.
4. Rosenblatt F. Principles of Neurodynamics. New York: Spartan Books, 1962.
5. Ясницкий Л.Н., Внукова О.В., Черепанов Ф.М. Прогноз результатов олимпиады-2014 в мужском одиночном фигурном катании методами искусственного интеллекта //

- Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 1. [Электронный ресурс] URL: <http://www.science-education.ru/115-11339> (дата обращения: 20.09.2021).
6. Ясницкий Л.Н., Киросова А.В., Ратегова А.В., Черепанов Ф.М. Методика прогнозирования результатов спортивных состязаний на примере Чемпионата мира-2015 по легкой атлетике // Вестник Пермского университета. Серия: Математика. Механика. Информатика. 2014. № 3. С. 90-97.
 7. Ясницкий Л.Н., Абрамова Ю.С., Бабушкина С.Д. Возможности получения рекомендаций по улучшению результативности сборных команд, готовящихся к участию в чемпионате Европы по футболу Евро-2016 методом нейросетевого моделирования // Вестник спортивной науки. № 5. 2015. С. 15-20.
 8. Ясницкий Л.Н. Искусственный интеллект. Элективный курс : учебное пособие. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. С. 197 : ил.
 9. Ясницкий Л.Н. Интеллектуальные системы : учебник. М.: Лаборатория знаний, 2016. С. 221 : ил. – (Учебник для высшей школы).
 10. Федосин С.А., Ладяев Д.А., Марьина О.А. Анализ и сравнение методов обучения нейронных сетей // Вестник Мордовского университета. №4. 2010. С. 79-88.

**USING METHODS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
IN FORECASTING THE RESULT FOR THE CYCLING SEASON
ACCORDING TO THE CYCLIST'S TRAINING DATA**

Markvirer Vladlena D.

Perm State National Research Polytechnic University,
Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614000, vdmarkvirer@hse.ru

Sakhipova Marina S.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, mssakhipova@hse.ru

Abstract. A neural network model has been developed that is designed to identify patterns and to predict the success of a cyclist's performances at competitions in the upcoming season based on various functional parameters taken during training sessions and the previous competitive season. The model is trained based on the private data transferred from paper to electronic format in tabular form. Patterns were revealed by collected data; it shows dependency of the occupied places at competitions on the athlete's training. So, the neural network model can forecast performances at competitions on the upcoming cycling season by current training and functional indicators for the previous competitive season. The model was built in "Neurosimulator 5.0" [1].

Keywords: artificial intelligence, neural network, forecast, cycling, sport.

КОНЦЕПЦИЯ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРИИ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ ПРИБРЕТЕНИЯ ЗНАНИЙ

Минин Андрей Сергеевич, Чуприна Светлана Игоревна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, mandrey0501@gmail.com

В статье представлена концепция подхода к применению методов инженерии знаний для построения онтологически управляемых систем приобретения знаний, автоматизирующих процесс создания баз знаний на принципах адаптивности к специфике проблемной области, особенностям решаемой задачи и внешним информационным ресурсам. Приводится архитектура системы на базе данной концепции для целей создания продукционных экспертных систем. Отличительной особенностью предлагаемого подхода является активный характер системы извлечения знаний, позволяющий в ходе общения с экспертом инициировать адекватный особенностям решаемой задачи естественно-языковой диалог, сценарий которого управляется онтологиями, что призвано значительно сократить трудозатраты эксперта и инженера по знаниям на создание и отладку баз знаний экспертных систем. Акцентируется внимание на средствах, позволяющих инженеру по знаниям проверять качество разработанной БЗ.

Ключевые слова: база знаний, онтология, автоматизация приобретения знаний, управляемое онтологиями решение, генерация продукционных правил экспертных систем.

Введение

В эпоху всеобщей цифровизации широкое распространение получили системы, основанные на знаниях (СОЗ), т.к. они являются важнейшим инструментом получения достоверного решения слабо и трудно формализуемых задач для широкого круга проблемных областей (ПрО). Особенно важно это для тех ПрО, в которых обязательным условием задачи является наличие объяснительной компоненты решения (биомедицина, экология, военное дело и др.), ведь применение в таком случае альтернативных методов машинного обучения далеко не всегда позволяет сгенерировать адекватное объяснение полученным результатам.

Основу СОЗ составляет база знаний (БЗ). Процесс формирования БЗ является трудоемким как по временным затратам, так и по сложности преобразования знаний эксперта в некоторую модель представления знаний для их последующей автоматизированной обработки методами и средствами искусственного интеллекта. В связи с этим, оптимизация процесса приобретения знаний и разработка инструментальных средств для повышения эффективности данного процесса являются актуальными и востребованными задачами. В статье рассматривается подход к извлечению знаний, комбинирующий методы инженерии знаний с методами автоматической обработки текстов на естественном языке (ЕЯ), т.к. данные методы позволяют извлекать знания напрямую из эксперта без необходимости длительных и многократных диалогов с инженером по знаниям и привлечения технологий Больших Данных, оставляя за инженером по знаниям функции по отладке и верификации БЗ.

Классический подход к извлечению знаний из эксперта посредством прямого взаимодействия со специалистом-посредником (инженером по знаниям) характеризуется наличием узкого места в приобретении знаний. Проявление данного ограничения связано как собственно с проблемами человеческого общения, включая психологические и профессиональные (инженер по знаниям не является специалистом в узкой проблемной области экспертизы), так и, возможно, с его недостаточной квалификацией в части практического применения методик извлечения знаний, неполнотой извлекаемых знаний, некорректной их интерпретацией, значительных трудозатрат на разработку БЗ [1, 2].

Одним из подходов к решению указанных проблем является разработка новых инструментальных средств, автоматизирующих процесс извлечения знаний из эксперта на принципах активного диалога со стороны системы, адаптируемости к специфике решаемой задачи и проблемной области экспертизы. Такие программные инструменты ориентированы на создание прототипа БЗ непосредственно самим непрограммирующим экспертом, что позволяет сократить трудозатраты инженера по знаниям на непосредственное общение с ним и собственно построение БЗ и переориентировать его деятельность на анализ, верификацию и отладку уже полученной БЗ. Работы [3-6] предлагают подходы с применением методов инженерии знаний к созданию инструментальных средств автоматизированного приобретения знаний и использованием концептуальных моделей, графических средств визуализации для этапов идентификации и концептуализации. Отметим, что используемые инструментальные средства являются адаптируемыми к классу решаемой задачи, ПрО и ориентированы на непрограммирующего эксперта. Однако в рассматриваемых подходах отсутствуют развитые средства генерации и верификации БЗ.

Концепция предлагаемого подхода

Предлагаемая концепция ориентирована на разработку инструментальных средств, автоматизирующих создание продукционных экспертных систем (ЭС) на принципах адаптируемости к специфике ПрО, решаемой задаче диагностического типа и внешним информационным ресурсам. Суть концепции заключается в том, что в ходе ЕЯ-диалога автоматически запускается последовательный процесс генерации с использованием встроенных в систему метазнаний промежуточных предметных онтологий, на основе которых в конечном счете генерируется предметно-зависимый код ЭС с интегрированной продукционной БЗ, неразрывно связанной с механизмом логического вывода (МЛВ) с целью защиты от обратной разработки (содержимое БЗ представлено в виде неотъемлемой части всего кода ЭС, включая МЛВ, и выполнена обфускация исходного кода ЭС). Новизна предлагаемого подхода заключается в том, что активная роль по извлечению знаний отведена системе, т.е. не эксперт заносит свои знания в систему, а система посредством интервьюирования эксперта и анализа его ответов, самостоятельно строит БЗ экспертной системы. При этом сценарий диалога строится системой в динамике и управляется т.н. легковесными онтологиями (англ. *lightweight ontology*). Такой подход является разновидностью MDA (англ. *Model Driven Architecture*), т.е. архитектур, управляемых моделями, где ранее превалировали UML модели. Сейчас все активнее развивается управляемый онтологиями подход к разработке программных систем на принципах ODA (англ. *Ontology Driven Architecture*).

Наша концепция предполагает, что первоначальная адаптация сценария диалога к специфике ПрО решаемой задачи осуществляется на метауровне системы посредством автоматизированного подбора онтологии общих вопросов из репозитория онтологий (имеет иерархический каталог с возможностью навигации по категориям ПрО и классам решаемых задач). Далее, на первом этапе диалога с использованием онтологии общих вопросов (содержит иерархию наиболее общих вопросов для данной категории ПрО) и анализа ответов эксперта выполняется автоматическое формирование таксономии понятий в виде предметной онтологии, что необходимо для дальнейшего построения прикладной онтологии

решаемой ЭС задачи. На втором этапе сценария диалога, эксперт относительно каждого понятия, полученного на предыдущем шаге, отвечает на вопросы, связанные с типом и доменом допустимых значений, а также при необходимости накладывает определенные ограничения на эти значения, выбирая необходимый вариант из встроенного набора возможных ограничений. Сокращение временных затрат, например, при определении домена допустимых значений, обеспечивается за счет средств интеграции с внешними информационными ресурсами (справочники, открытые базы данных и др.), а минимизация уровня ошибок эксперта и частичный контроль вводимых им данных – за счет графического пользовательского интерфейса, автоматически генерируемого на основе полученных онтологий. На заключительном этапе процесса извлечения знаний выполняется определение комбинаций для посылок продукционных правил. Данный шаг также ориентирован на эксперта – формирование посылок продукций выполняется с помощью высокоуровневого пользовательского интерфейса (рис. 1) с возможностью визуального анализа сгенерированных правил либо в виде традиционного текстового представления, либо в виде семантической сети в среде разрабатываемой нами системы приобретения знаний Knowledge Acquisition System.

Рис. 1. Интерфейс формирования посылок продукций в среде Knowledge Acquisition System

Далее следует этап автоматической генерации продукционной БЗ в формате JSON и ее верификация инженером по знаниям при помощи высокоуровневых визуальных средств, либо в среде текстового редактора (рис. 2).

```

ПРАВИЛО 1
IF      ("систолическое артериальное давление" = {>=140 и <=159} AND "диастолическое артериальное давление" = {<90})
OR
      ("систолическое артериальное давление" = {>=140 и <=159} AND "диастолическое артериальное давление" = {>=90 и <=99})
OR
      ("систолическое артериальное давление" = {<140} AND "диастолическое артериальное давление" = {>=90 и <=99})
THEN   "степень АГ" = "АГ 1-й степени";

```

Рис. 2. Фрагмент представления продукционных правил в текстовом формате

Результатом взаимодействия пользователя с Knowledge Acquisition System является сгенерированная онтологическая база знаний, которая затем автоматически преобразуется в продукционную БЗ в JSON-формате определенной структуры. Предложенная концепция обеспечивает упрощение и автоматизацию труда инженера по знаниям. Во-первых, выполняется сужение спектра задач, решаемых инженером по знаниям в процессе создания БЗ (вместо извлечения и формализации знаний – проверка и комплексная отладка разработанной БЗ). Во-вторых, для упрощения и ускорения проверки БЗ инженеру по знаниям предоставляется ряд вспомогательных средств, таких как модуль для обратной трансформации сгенерированных продукционных правил в онтологию, модуль для генерации текстового представления продукционной БЗ, модуль для генерации рабочей версии продукционной ЭС (на входе – продукционная БЗ определенной структуры в формате JSON, на выходе – экспертная система с интегрированной в нее БЗ), а также компонента объяснения на ЕЯ. Обобщенная архитектура Knowledge Acquisition System и ее взаимодействие с внешними подсистемами представлена на рис. 3.

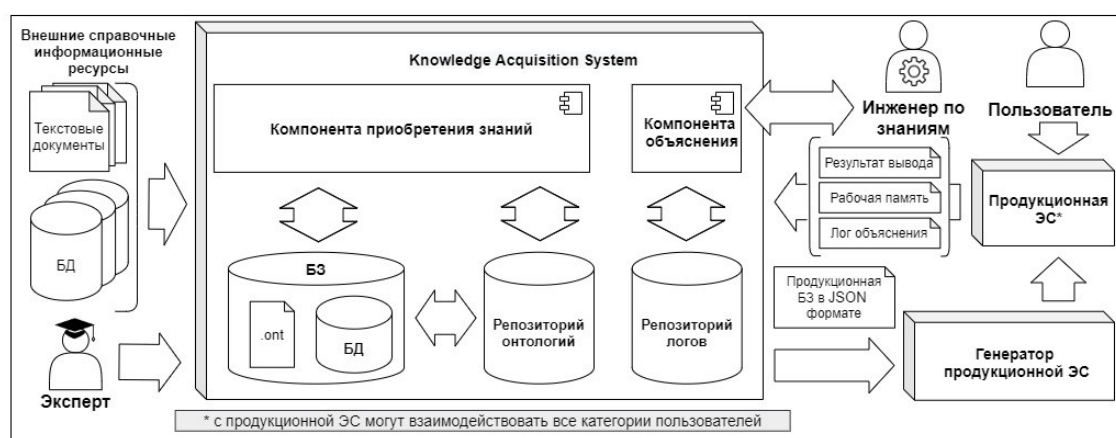


Рис. 3. Обобщенная архитектура Knowledge Acquisition System и ее взаимодействие с внешними подсистемами

Компонента объяснения позволяет представить ход логического вывода цели, сгенерированной ЭС в понятном и наглядном виде (графическое представление в виде дерева объяснения со сведениями о сработавших правилах и означенных переменных). Таким образом, инженер по знаниям в своем распоряжении имеет рабочий прототип ЭС. Описание модуля генерации ЭС выходит за рамки данной статьи.

Заключение

Использование онтологий для управления работой инструментального средства позволяет разработать систему приобретения знаний с автоматически генерируемым интуитивно-понятным графическим пользовательским интерфейсом, адаптируемым к ПРО и решаемой задаче без необходимости внесения изменений в исходный код. Системы приобретения знаний, разработанные согласно предлагаемой концепции, позволяют изменить роль и место как инженера по знаниям, так и эксперта в процессе создания ЭС. Инженер по знаниям выступает в роли контролера результатов приобретения знаний (проверка и комплексная отладка разработанной БЗ) вместо активного помощника эксперта по извлечению знаний, роль которого при нашем подходе выполняет сама программная система. В настоящее время Knowledge Acquisition System находится на стадии исследовательского прототипа. В ближайших планах – продолжение разработки и реализации предложенных в рамках данной статьи проектных решений до стадии действующего прототипа.

Библиографический список

1. *Гаврилова Т.А.* Базы знаний интеллектуальных систем: учебник для вузов / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. СПб: Питер. 2000. 384 с.
2. *Richardson M., Domingos P.* Building Large Knowledge Bases by Mass Collaboration // K-CAP '03: Proceedings of the 2nd international conference on Knowledge capture. 2003. P. 129-137.
3. *Загоруйко Ю.А.* Семантическая технология разработки интеллектуальных систем, ориентированная на экспертов предметной области // *Ontology of Designing*. 2015. № 1. С. 30-46.
4. *Колобашкина М.В., Рыбина Г.В., Сергиевская О.Г., Смирнов В.В.* Задачно-ориентированная методология приобретения знаний для компьютерного построения интегрированных экспертных систем. КИИ-96 // Пятая национальная конференция с международным участием «Искусственный интеллект-96». Сборник научных трудов в трех томах. Казань: ЗАО ПО «Спецтехника». 1996. Т.2. С. 270-274.
5. *Рыбина Г.В., Дейнеко А.О.* Распределенное приобретение знаний для автоматизированного построения интегрированных экспертных систем // Искусственный интеллект и принятие решений. 2010. № 4. С. 55-62.
6. *Грищенко М.А., Николайчук О.А., Павлов А.И., Юрин А.Ю.* Инструментальное средство создания продукционных экспертных систем на основе MDA // Образовательные ресурсы и технологии. 2016. № 2. С. 144-151.

TOWARDS THE APPLYING KNOWLEDGE ENGINEERING METHODS TO BUILD ONTOLOGY DRIVEN KNOWLEDGE ACQUISITION SYSTEMS

Minin Andrey S., Chuprina Svetlana I.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, mandrey0501@gmail.com

Abstract. The article presents the concept of an approach to the application of knowledge engineering methods of building the ontology driven knowledge acquisition systems. Automation of the process of production expert system knowledge base building uses the principles of adaptability to the specifics of the application domain and third-party information resources is demonstrated. A distinctive feature of the proposed approach is the active nature of the dialogue within the knowledge extraction system (dialogue script is generated in dynamics). This allows, during communication with an expert, to initiate a natural language dialogue adequate to the features of the problem being solved and focus on simplifying and automating the work of an expert and a knowledge engineer. The tools which allow the knowledge engineer to verify the quality of the developed knowledge base are discussed.

Keywords: knowledge base, ontology, knowledge acquisition automation, ontology driven decision, expert systems production rules generation.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ XVIII В. НА ПРИМЕРЕ
СЕМАНТИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
(НА ОСНОВЕ ИС «СЕМОГРАФ»)**

Мукосеева Яна Юрьевна

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, mukoseeva71@mail.ru

Изучение технических терминов проведено на основе информационной системы «Семограф» и программы визуальной аналитики «SciVi». На примере семантического поля *Промышленное оборудование* изучены связи между полями, объем и вес входящих в поле терминов. Анализ полей проведен по трем источникам, содержащим термины промышленного оборудования, путевым запискам руководителей Оренбургских научных отрядов. Выявлено, что наибольший объем терминов и вес представлен для поля *Железодельательное оборудование*, в меньшей степени для поля *Медеплавильное оборудование*.

Ключевые слова: технический термин, семантическое поле, промышленное оборудование, печь, горн, молот.

Современные глобальные изменения в области цифровизации привели к разработке новых требований и подходов в области образования, науки и других сфер деятельности, в том числе и к развитию новых информационных технологий и инструментов, программных платформ, информационных систем, аналитических программ. Это говорит об изменении отношения к методологии исследования проблем гуманитарных наук, анализу информации и визуализации данных. В статье представлено применение методов компьютерной лингвистики для анализа источника, путевых записок ученых-путешественников Урала, датируемых XVIII в. В ходе исследования из источников извлекались данные о технической терминологии, использованных в записках (на примере семантического поля «Промышленное оборудование»).

В нашем исследовании формирования технической терминологии в XVIII в. использована информационная система «Семограф» (semograph.com) [1], которая позволила провести анализ технических терминов XVIII в. В современных условиях для анализа источников применяются различные методы, в том числе методы компьютерных и информационных технологий. Информационная система «Семограф» используется для семантического анализа языковых единиц и текстовых материалов. На основе сформированных данных информационная система позволяет анализировать и визуализировать данные, терминологические единицы. В исследовании анализ и моделирование осуществлено с помощью программы «SciVi.semograph.com» [1], с целью анализа объема семантических полей и визуализации взаимосвязей между основными элементами семантических полей [1].

Материалом исследования послужили путевые записки путешественников, участников экспедиции второй половины XVIII в., П. С. Палласа, И. И. Лепехина, И. П. Фалька [3, 2, 5]. Участники экспедиции обследовали территорию Урала, по маршруту следования отрядов посетили уральские железоделательные и медеплавильные заводы. В записках путешественники представили технические термины промышленного оборудования XVIII в. уральских заводов.

Цель исследования состояла в анализе технической терминологии промышленного предприятия XVIII в. на примере поля *Промышленное оборудование*, выявлении взаимосвязей между полями, объема входящих в поля терминов.

Изучение технической терминологии включало несколько этапов. На первом этапе из источников материала выделены контексты описания уральских медеплавильных и железоделательных заводов. Контексты позволили выделить технические термины, которые были распределены по семантическим полям с помощью информационной системы Семограф. Всего образовано семь полей.

Приведем пример работы с контекстом. Для термина *домна* выбран контекст: «Принадлежности завода суть две доменные о двух **домнах** в четырнадцать аршин с половиною, из коих одна всегда в запасе держится: четыре молотовые, в коих пятнадцать молотов, включая и якорную кузницу» [3]. Из контекста выделен термин *домна*, семантическое значение которого проверено по словарям. В работе использовались словари XVIII в., XIX в., XX в. Воспользуемся приведенным выше примером, выделив термин *домна*, проверив значение по Словарю русского языка XVIII в.: «Метал. печь для выплавки чугуна» [4]. Следовательно, *домна* относится к промышленному оборудованию и является видом металлургической печи.

В статье рассмотрено поле *Промышленное оборудование*. Термины распределены по отношению к общим категориям промышленного оборудования: **печь, горн, молот, толчея**.

Второй этап состоял в анализе объема полей, установлении связей и визуализации данных с помощью динамического графа. Конструирование динамического графа позволило увидеть объем семантических полей по входящим в поле терминам.

Рассмотрим результаты исследования. Наибольший объем терминов, входящих в поле *Промышленное оборудование*, представлен в источнике П.С. Палласа: это и удельный вес узлов (517) и толщина дуг графа (вес 2446). Анализ показал, что наибольший объем терминов характеризовал поле *Железодельное оборудование* (узлы: **печь, горн, молот**). Основная взаимосвязь узлов выявлена с промышленным оборудованием для производства чугуна, железа и уклада (стали). Меньший объем и вес у поля *Медеплавильное оборудование*, которое показало равное распределение по узлам **печь, горн, молот** (См. Рис.1).

Изучение источника материала И.П. Фалька показало, что объем терминов выше у поля *Железодельное оборудование*, чем у поля *Медеплавильное оборудование*. На Рисунке 2 показано, что наибольший вес имело поле оборудования – *Железодельная печь*, остальные виды оборудования выражены в меньшей степени. Удельный вес узлов составил 192, толщина дуг – 456.

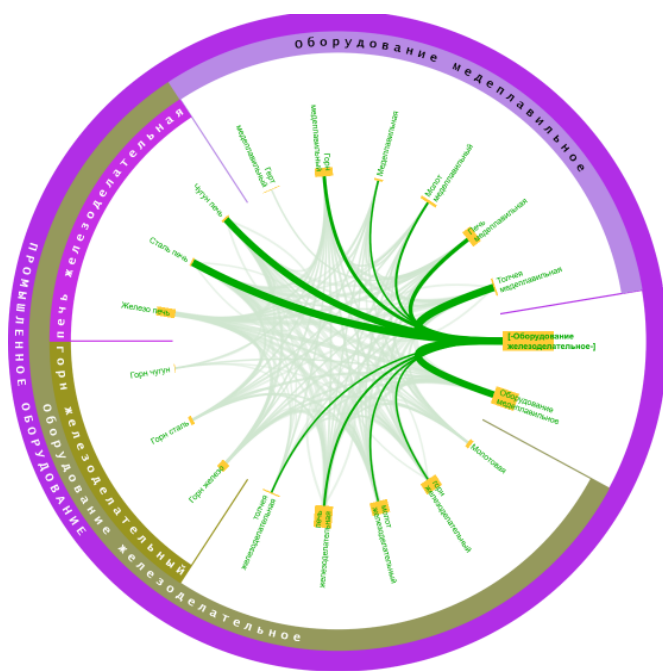


Рис. 1. Круговой граф связей объема технических терминов между полями
(по источнику П.С. Палласа)

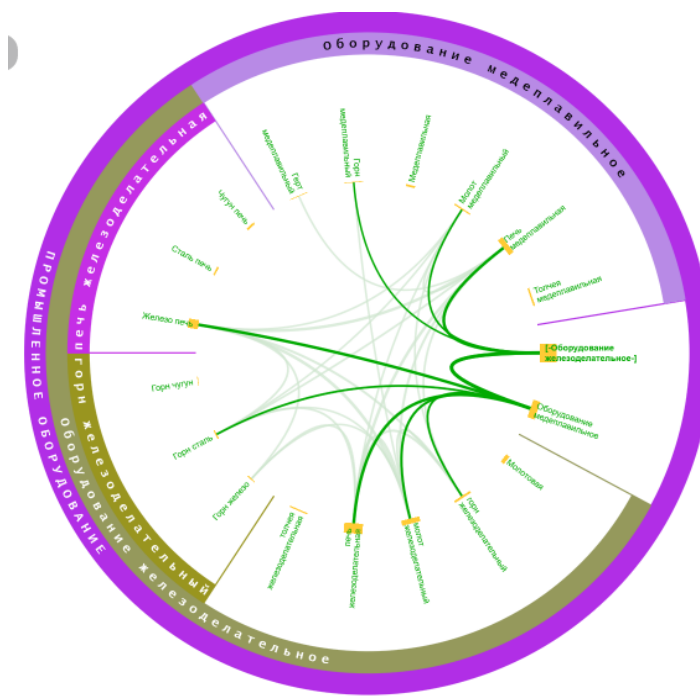


Рис. 2. Круговой граф связей объема технических терминов между полями
(по источнику И.П. Фалька)

Исследование данных в источнике И.И. Лепехина выявило, что вес узлов имел показатель 181, толщина дуг составляла 672. Также, как и у двух авторов, основной объем терминов относился к *Железоделательному оборудованию*, меньший объем – к полю *Металлургическое оборудование*. Для поля *Железоделательное оборудование* характерно относительно равное распределение терминов по видам оборудования:

Железодельательная печь, Железодельательный горн, Железодельательный молот. Анализ поля Медеплавильное оборудование показал, что в большем объеме представлены термины в поле Горн медеплавильный. Рисунок 3 продемонстрировал взаимосвязи между двумя полями, Железодельательное оборудование и Медеплавильное оборудование.

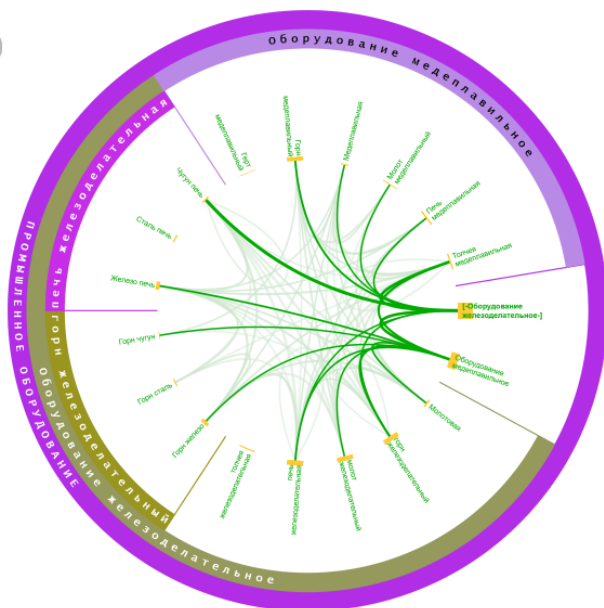


Рисунок 3. Круговой граф связей объема технических терминов между полями (по источнику И.И. Лепехина)

Таким образом, на основе информационной системы «Семограф» осуществлено исследование технической терминологии и анализ семантических полей. Использование программы «SciVi.semograph.com» позволило визуализировать данные в виде динамического графа и проанализировать объем содержащихся в полях терминов. Наибольший вес и объем терминов выявлен в источнике П.С. Палласа, в меньшей степени в источниках И.И. Лепехина и И.П. Фалька. В трех источниках основной объем терминов представлен полем *Железодельательное оборудование*, в меньшей степени выражен объем терминов в поле *Медеплавильное оборудование*, что связано с количеством терминов, входящих в данное поле и функционирующих в источниках.

Библиографический список

1. *Боронникова Н. В., Талески А., Белоусов К. И., Рябинин К. В.* Визуальное представление эгоцентрического поля, говорящего в македонском языке (экспериментальное исследование) // *Вестник Пермского университета. Российская и зарубежная филология.* 2018. Т. 10, вып. 3. С. 13–27. doi 10.17072/2037-6681-2018-3-13-27.
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. *Словарь русского языка XVIII века [Электронный ресурс] //http://feb-web.ru/feb/sl18/slov-abc/0slov.htm?cmd=2&istext=0* (дата обращения: 24.09.2021)

5. 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.

**STUDY OF XVIII CENTURY TECHNICAL TERMS ON EXAMPLE
OF SEMANTIC FIELD INDUSTRIAL EQUIPMENT
(BASED ON IS «SEMOGRAPH»)**

Mukoseeva Yana Yu.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, mukoseeva71@mail.ru

The study of technical terms have carried out because of the Semograph information system and the SciVi visual analytics program. Using the example of the semantic field *Industrial equipment* studied the relationships between the fields, the volume and the weight of terms included in the field. The analysis of the fields have carried out according to three sources containing the terms and the travel notes of the leaders of the Orenburg scientific detachments. It have revealed that the largest volume of terms and weight have presented for the field *Iron-making equipment* to the lesser extent for the field *Copper-smelting equipment*.

Keywords: technical term, semantic field, industrial equipment, furnace, mountain, hammer

ВЫДЕЛЕНИЕ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ В ТЕКСТЕ

Охота Борис Владимирович, Решетняк Роман Максимович

Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”,
614070, Россия, г. Пермь, ул. Студенческая, 38, roma_r9@mail.ru

В настоящее время люди постоянно сталкиваются с огромным потоком информации. Так, Мартин Гильберт и его команда из Университета Южной Калифорнии с помощью исследования, проводимого с 1986 по 2007 года, подсчитали, что среднее количество познаваемой информацией в день увеличилось в 5 раз [1]. Однако не вся информация из всех источников одинаково полезна. Для более быстрого понимания текста, в нем выделяются ключевые слова. В данной работе рассматривается вопрос о необходимости создания системы для выделения ключевых слов текста.

Ключевые слова: ключевые слова, стемминг, закон Ципфа.

Анализ темы. При переизбытке информации в сетевом пространстве, информационный коллапс вызывает нарушения в системе передачи информации и её понимании. Невероятное количество данных для мозга человека на вход, и малая скорость обработки и выдачи её им же на выход – это огромная проблема на текущий день [2]. Человечество с каждым годом открывает новые возможности для самих себя в различных сферах. Однако все научные знания, открытые человеком, невозможно уместить в памяти, а время на изучение многих тем всё меньше. Именно поэтому человечеству нужно сокращать ежедневный объём данных. Необходимо игнорировать бесполезные для человека темы, и в то же время запоминать⁴⁰ важные. Для определения необходимости текста человеку стоит прочесть его ключевые слова. Ключевые слова характеризуют его содержание, так как встречаются в документе чаще всего. Благодаря этим ключам, человек не только определит важность текста, но и сможет запомнить его. Хотя выделение ключевых слов может происходить различными методами, этапы анализа у всех систем одинаковы [3]:

1. Процесс токенизации;
2. Процесс нормализации;
3. Процесс стемминга;
4. Частотное ранжирование групп;
5. Выбор слов по закону Ципфа.

Токенизация представляет собой систему замены реальных данных на сгенерированные кодом – токеном, который будет доступен лишь один раз для одной операции. В выделении ключевых слов документа данный алгоритм может разделять сложные тексты на составные части, тем самым облегчить поиск ключевых слов и сократить затраченное на это время [3].

Процесс нормализации представляет собой приведение всех слов текста к единому стилю, то есть исключение регистра, знаков препинания и шрифтов [3]. Подходами к данному процессу также являются стемминг и лемматизация

Стемминг – это выделение основной части слова, а именно исключение суффиксов, окончаний, приставок. Популярный методом системы является стемминг Портера. Алгоритм последовательно отсекает части слова. Изначально задаются группы окончаний, приставок или суффиксов, разделенные по смыслу. Для точного определения основной части слова

первым происходит выделение самой длинного участка. При данных последовательных шагах удаления алгоритму не составит труда найти корень слова [4]

Ранжирование слов по частоте – это процесс присвоения каждой группе слов своей частоты.

Для этого к каждой группе приписывается количество слов, которое в ней находится, все это делается для того, чтобы можно было вычислить значимость слова, так же можно было найти возможность написания этих слов вместе.

Выбор слов по закону Ципфа – выбор слов со средней частотой. Частота слова обратно-пропорциональна его важности в приведенном тексте. Таким образом слова с большой частотой имеют маленькую значимость в тексте, а с маленькой и средней – большую.

Данный закон имеет всестороннее применение. С помощью него описываются распределение слов в тексте, распределение людей по городам и многое другое.

Существующие алгоритмы. Имеются множество алгоритмов по выделению ключевых слов текста. Наиболее популярными из них являются KEA, RAKE и Bag-Of-Words.

KEA. Данный алгоритм хорошо распространён для обработки текста на английском языке, поскольку имеет высокие результаты в автоматическом выделении ключевых слов. Алгоритм включает в себя 2 компонента:

1. Машинное обучение с помощью учителя или эксперта;
2. Самостоятельное извлечение ключевых слов из текста.

Машинное обучение алгоритма происходит с помощью автора или эксперта, который выделяет слова и передаёт информацию системе. На основе этой информации программа запоминает алгоритм и в дальнейшем разделяет все слова текста на 2 группы: «ключевое» и «неключевое». Используя сложные вычислительные системы, KEA является точным, но затратным алгоритмом.

RAKE. Алгоритм Rake находит ключевые слова с помощью отношения степени встречаемости слова (сумма по-отдельности и в словосочетании) к частоте встречаемости слова, а затем их значения распределяет для поиска эксклюзивности слова.

Bag-Of-Words. Алгоритм «мешок слов» представляет собой упрощенный вид работы выделения ключевых слов. Система игнорирует грамматику и порядок слов, подсчитывая лишь количество появления того или иного слова в документе [5]. Для реализации алгоритма bag-of-words создается вектор длиной в словарь, количество входа в текст каждого слова считается отдельно, а затем происходит сравнение между кандидатами. Конечно, при данной работе теряется порядок слов, вследствие чего нельзя точно определять ключевые словосочетания.

Алгоритм. Рассмотрев вышеописанные разделы, следует прописать итоговый алгоритм для поиска ключевых слов в тексте. Систему следует создать как нечто среднее, между тремя популярными вышеуказанными алгоритмами, со своей формулой.

Алгоритм расписан ниже по шагам:

1. Все слова наделяются собственным токеном;
2. Убираются регистры, знаки препинания, устанавливается единый шрифт;
3. Удаляются суффиксы, окончания и приставки;
4. Каждому слову присваивается своя частота;
5. Затем по закону Ципфа выделяются значимые слова.

После завершения процессов подготовки следует подсчитать ключевые слова.

Для понимания того, какое количество слов потребуется в качестве ключевых, была составлена формула. Для этого были выделены три крайние точки в качестве тестирования выражения. Первая точка – одно слово. У текста, состоящего из одного слова, существует только одно ключевое – само слово. Таким образом было решено высчитывать алгоритм, через возведение общего количества слов в степень. Прикладным способом была выведена

формула: $x \approx \sqrt[3]{n}$. Вторая точка – около 1100 слов, среднее число слов в научной статье. В стандартах научных изданий указано количество ключевых слов равное 3-5, что соответствует результату, полученному по формуле. Третья точка – около 18000 слов, примерный размер дипломной работы. Согласно формуле, количество ключевых слов будет равно 7, что вполне соответствует действительности.

В процессе изучения темы “Выделение ключевых слов текста” было проанализировано значительное количество различной информации, которая описана в текущей работе. Однако, задача была решена не в полной мере, например проблема ключевых словосочетаний текста по сей день является актуальной. Таким образом, данное исследование может служить основанием для продолжения изучения темы поиска ключевых слов и словосочетаний текста.

Библиографический список

1. Современный человек читает 174 газеты в день // Утро. 2011. 11 фев. [Электронный ресурс] URL: <https://utro.ru/articles/2011/02/11/955640.shtml> (дата обращения: 13.09.2021).
2. Информационный коллапс // utmagazine [Электронный ресурс] URL: <https://utmagazine.ru/posts/10136-informacionnyu-kollaps> (дата обращения: 13.09.2021).
3. Основные термины в Natural Language Processing // Singularika [Электронный ресурс] URL: <https://singularika.com/ru/nlp/natural-language-processing-terms/> (дата обращения: 13.09.2021).
4. Стеммер Портера для русского языка // Medium. 2015. 18 фев. [Электронный ресурс] URL: <https://medium.com/@eigenein/стеммер-портера-для-русского-языка-d41c38b2d340> (дата обращения: 13.09.2021).
5. Открытый курс машинного обучения. Тема 6. Построение и отбор признаков // Хабр. 2017. 3 апр. [Электронный ресурс] URL: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/325422/> (дата обращения: 13.09.2021).

HIGHLIGHTING KEYWORDS IN THE TEXT

Okhota Boris V., Reshetniak Roman M.

National Research University Higher School of Economics,
38, Studencheskaya st., Perm, 614070, Russia, roma_r9@mail.ru

Currently, people are constantly faced with a huge flow of information. If we compare the past and the current centuries, now humanity is receiving much more new knowledge than it was before. So, Martin Hilbert and his team from the University of Southern California, using a study conducted from 1986 to 2007, calculated that the average amount of cognizable information per day increased by 5 times [1]. However, not all information from all sources is equally useful. For a faster understanding of the text, keywords are highlighted in it. In this paper, the question of the need to create a system for highlighting the keywords of the text is considered.

Keywords: keywords, stemming, Zipf's law.

РАЗРАБОТКА КОМПОНЕНТА ПОИСКА В КОРПУСЕ ТЕКСТОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Салахов Роман Данилович, Ланин Вячеслав Владимирович

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

В корпусной лингвистике основным методом исследования является проверка статистических гипотез о языке путем анализа паттернов и закономерностей среди большого массива данных. Специалисты часто собирают новые корпуса или обновляют существующие, а сами же корпуса могут иметь различную разметку, язык, область применения и большой набор других отличий. Однако для исследований зачастую бывает необходимо обращаться ко многим различным корпусам, а они в свою очередь часто бывают собраны через различные инструментальные средства и могут быть проанализированы только через них. В такой ситуации исследователю приходится изучать свой инструмент поиска для каждого нового корпуса, отсюда и возникает проблема отсутствия единого средства анализа, через которую можно было бы исследовать различные корпуса. В данной работе рассматривается вопрос о возможном формальном языке запросов для универсального модуля для поиска по корпусам текстов.

Ключевые слова: корпусная лингвистика, лингвистические исследования, поисковые системы, формальные языки.

Корпусная лингвистика – большой раздел современной науки о языках, объектом исследования которого являются корпуса текстов. Лингвистический корпус представляет собой набор текстов, объединенных по какому-либо параметру или идее. Корпусы используются в качестве базы для статистического анализа и подтверждения или опровержения статистических гипотез или правил языка. Еще одним важным свойством корпуса является то, что все тексты в нем имеют какую-либо лингвистическую разметку [1]. Это значит, что для каждого слова или последовательности слов или знаков описана какая-либо лингвистическая классификация. Чаще всего выделяют следующие разметки: по частям речи, по синтаксическим ролям, по семантическому значению.

Однако корпуса текстов являются лишь материалом для проведения исследований, и существуют различные системы управления корпусами, возможности и способы взаимодействия и поиска, по которым часто различаются. А для того, чтобы эффективно проверять какие-либо гипотезы и анализировать языковые закономерности, необходимо обладать инструментом, который позволит осуществлять параметризованный поиск по всем словам и аннотациям в корпусе. Из данных фактов вытекает проблема отсутствия единого инструмента поиска по любым системам корпусов. Так как поиск и проверка гипотез являются основой для всей исследовательской работы в корпусной лингвистике, то от компонента поисковой системы корпуса текстов зависит скорость и качество такой работы.

Предлагаемое решение заключается в создании единой поисковой системы, которая может подключаться к различным системам хранения корпусов и передавать им поисковые запросы. Особенность данной системы заключается в том, что она должна позволить

составлять единообразные поисковые запросы к различным хранилищам, таким образом пользователю не нужно будет терять время на изучение новой для себя системы хранения корпусов.

Поисковая система национального корпуса русского языка. Национальный корпус русского языка (сокр. НКРЯ) [2] представляет собой корпус современного русского языка объемом свыше 600 миллионов слов. Система поиска по НКРЯ, доступная на веб-ресурсе корпуса, представляет собой конструктор запросов для нахождения слов в корпусе по широкому набору параметров. Поисковый интерфейс представлен на рисунке 1. В конструкторе имеется два базовых режима поиска по корпусу: поиск точных форм и лексико-грамматический поиск.

Рис. 3. Поисковый интерфейс НКРЯ

В отличие от поиска точных форм, который ищет точное вхождение формы слова в текст, наиболее интересным является лексико-грамматический поиск. Его смысл заключается в том, что указывается не точная форма слова или сочетания слов, а для одного или нескольких слов заполняется перечень лексико-грамматических параметров, а также устанавливаются границы интервала, в котором указанные слова должны располагаться. Среди доступных лингвистических параметров доступны следующие пункты:

- Лексема – слово в словарной форме, доступно также перечисление нескольких слов через знак «|», к примеру «любовь|ненависть».
- Грамматические признаки – часть речи, падеж, род, число, лицо, одушевленность, вид и прочие.
- Семантические признаки – различные характеристики, касающиеся значения слова, к примеру категория понятий: животные, растения, вещества и так далее.

Система анализа корпусов Sketch Engine. Одним из наиболее популярных инструментов для работы с корпусами и анализа текстов является Sketch Engine [3]. В Sketch Engine доступны широкие возможности поиска по корпусам текстов, среди которых:

- Поиск наиболее часто встречающихся словосочетаний по заданному слову или словосочетанию;
- Поиск синонимов и похожих слов;
- Сравнение двух слов по их словосочетаниям, позволяющее определить разницу в их использовании.

Форма поиска конкретного вхождения (см. рис. 2) позволяет задать необходимую часть речи, а также минимальную частоту, с которой данное слово встречается в текстах. Помимо этого, доступен выбор подкорпуса, а также типа текста, в котором должно встретиться слово.

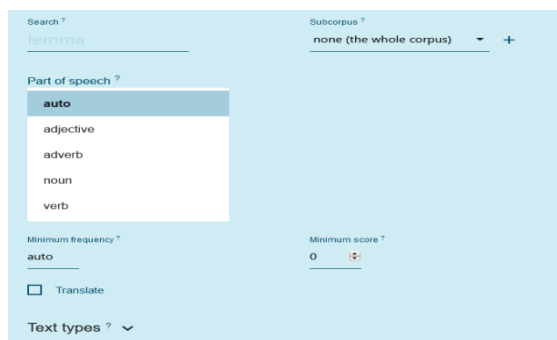


Рис. 2. Форма поиска конкретного вхождения

Форма сравнения слов по словосочетаниям, в которых они встречаются (рис. 3), позволяет задать два различных слова или две формы одного слова, определить необходимую часть речи и задать минимальную частоту встречаемости. Также возможно сравнение словосочетаний заданного слова в различных подкорпусах.



Рис. 3. Форма сравнения слов по словосочетаниям

Среди прочих инструментов для анализа текстов, предоставляемых Sketch Engine, также внимания заслуживает форма поиска контекстов, в которых появляется заданное слово. Данный режим позволяет также задать часть речи слова и подкорпус в котором должен осуществляться поиск. В качестве результата данная форма выдает список контекстов, отсортированный по одному из ближайших слов (см. рис. 4).

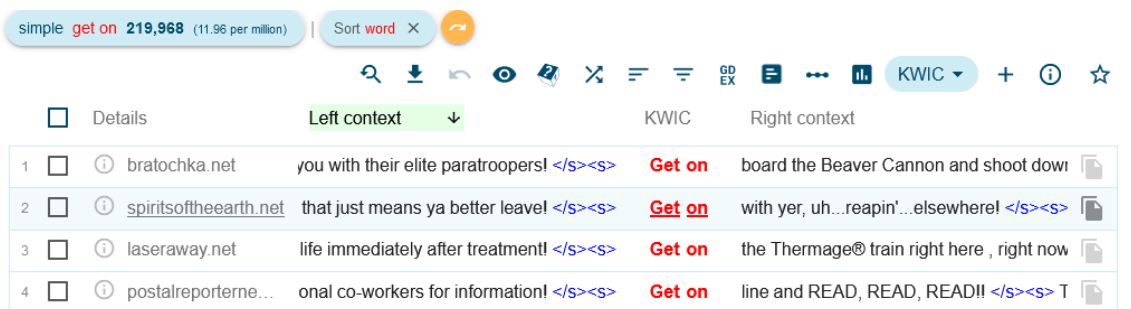


Рис. 4. Результат поиска контекстов

Таким образом, Sketch Engine предоставляет более мощный инструментарий для составления запросов к корпусам, чем система национального корпуса русского языка. Однако важной особенностью Sketch Engine является экономическая модель распространения. В отличие от доступного бесплатно НКРЯ, данная система распространяется по подписке.

Система поиска по национальному британскому корпусу BNC[4]. Создатели корпуса не предоставили собственной системы для работы текстами и поиска, поэтому поисковые механизмы разрабатываются отдельными сторонними проектами. Один из таких проектов – сайт english-corpora.org предоставляет собственную форму поиска по британскому национальному. Данный механизм позволяет искать словосочетания, конкретные вхождения слов, различные формы слова, а также показывает частоту, с которой данное слово или словосочетание встречается в текстах. Так же, как и в НКРЯ поиск может производиться либо по всему корпусу, либо по отдельным его частям, объединенным по типу текстов. Также данная платформа предоставляет режим поиска, в котором можно проводить сравнение двух слов по частоте встречаемости с каким-либо третьим словом в заданном интервале.

Проектирование компонента. При разработке проекта универсального поискового модуля одной из самых важных задач была разработка формального языка запросов, который был бы достаточно мощным, чтобы покрыть нужды исследователей и одновременно обобщать, и содержать в себе возможности поиска, предоставляемые системами хранения корпусов.

В качестве основы для разработки формального языка поисковых запросов был использован поисковый инструмент корпуса национального корпуса русского языка, так как его система поиска оказалась наиболее структурированной и расширяемой, но при этом покрывающей большинство сценариев использования всех изученных платформ.

Формальный язык. На основе проанализированных инструментальных средств анализа корпусов, а также языков поисковых запросов таких как SQL[5], XPath[6] и LINQ[7]. Был разработан собственный формальный язык позволяющий описывать поисковые запросы корпусам. Анализ поисковых систем показал, что большинство запросов содержит набор грамматических и семантических признаков слов, а также интервал, в котором должны находиться искомые слова, имеющие описанных параметры. Поэтому было принято решение разработать язык так, чтобы в нем можно было удобно описать приведенный выше набор параметров. Кроме этого, решено было предусмотреть возможность составления запроса на поиск точной формы слова или набора слов.

Шаблон выражения для поиска точной формы выглядит следующим образом: «*FIND EXACT {точная форма};*». По шаблону видно, что в качестве начала выражения используется слово «FIND», по нему система вычисляет начало запроса. Затем, для того чтобы обозначить то, что в запросе описывается поиск точной формы слова идет служебное слово «EXACT». После этого обязательно следует пробел, который отделяет искомую последовательность от остального выражения. В искомой последовательности могут присутствовать любые символы, кроме «;» а сама последовательность отправляется на вход хранилищу корпусов, который по собственным правилам ищет соответствия. Конец выражения обозначает символ «;».

Шаблон выражения для параметризованного поиска представлен на рисунке 5. Выражение может содержать описание грамматических и семантических признаков, а также условие на расстояние для неограниченного количества слов. Так же, как и выражение для поиска точных форм, выражение для параметризованного начинается со служебного слова «FIND» и перехода на новую строку. После этого указывается служебное слово «GRAMM», если нужно перечислить грамматические признаки, или «SEMANTIC», если нужно перечислить семантические признаки. Сами признаки указываются в круглых скобках и разделяются символом «|». Если указано несколько грамматических или семантических признаков, то при поиске ищется соответствие хотя бы одному признаку. В зависимости от целей запроса, грамматические или семантические признаки могут не указываться.

```

FIND
GRAMM ({грамматический_признак})
SEMANTIC ({семантический_признак})
WITHRANGE FROM {..} TO {..}
GRAMM ({грамматический_признак})
SEMANTIC ({семантический_признак});

```

Рис. 5. Шаблон выражения для параметризованного поиска

После указания признаков для первого слова, при необходимости можно таким же образом описать признаки для последующих слов. Здесь отдельного внимания заслуживает строка, в которой указывается ограничения на расстояние слов друг от друга. Начиная со второго слова, каждое описание поисковых параметров начинается с обязательной строки «WITHRANGE FROM {число} TO {число}», в которой после слова FROM указывается минимальное расстояние от предыдущего слова, а после слова «TO» максимальное расстояние от предыдущего слова. Под расстоянием в запросе понимается количество слов между искомыми словами.

Описываемый выше язык подходит для составления запросов к корпусам текстов, так как позволяет описывать последовательности слов, перечисляя разные виды признаков и допустимый интервал поиска. Также, впоследствии язык может быть расширен добавлением конструкций для описания новых типов признаков.

В рамках дальнейших исследований планируется разработать архитектуру поискового модуля, которая бы позволяла интегрировать его с существующими система хранения корпусов, а также транслировать поисковые запросы написанные на разработанном формальном языке на набор вызовов к программному интерфейсу хранилища корпусов.

Преимущества разработанного языка. Конечно же, разработка нового формального языка – это не единственный путь, который можно выбрать при разработке универсального модуля. В качестве альтернативы можно выбрать, к примеру SQL. Этот язык запросов является стандартом в области анализа любых данных и позволяет проводить исследования структурированных данных в любом научном поле. Однако универсальность данного языка исходит из того, что он состоит из понятий из намного более высокого уровня абстракций. Вместе оперирования лингвистическими единицами и признаками, он действует на уровне понятий и механик реляционной алгебры, а кроме этого привязан к структуре таблиц, в которых содержатся данные.

Таким образом, для использования SQL в области анализа лингвистических корпусов от исследователя потребуется изучение абстракций реляционной алгебры, а также механизмов проекции размеченных текстов в нормализованные табличные данные. Тогда как разработанный язык позволяет исследователю пользоваться в работе понятными ему абстракциями его предметной области – корпусной лингвистики.

Библиографический список

1. *Шунейко А. А.* Корпусная лингвистика / А. А. Шунейко. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 222 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-13603-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/466080> (дата обращения: 10.09.2021).
2. Национальный корпус русского языка [Электронный ресурс] // НКРЯ URL: <http://www.ruscorpora.ru/new/>. (Дата обращения 10.09.2021).
3. *Джеймс Р. Грофф, Пол Н. Вайнберг, Эндрю Дж. Оппель.* SQL: полное руководство, 3-е издание = SQL: The Complete Reference, Third Edition. М.: «Вильямс», 2014. 960 с. ISBN 978-5-8459-1654-9.

4. XML Path Language (XPath) 2.0 (Second Edition) [Электронный ресурс] // W3C Recommendation URL: <https://www.w3.org/TR/xpath20/>. (Дата обращения 10.09.2021)
5. *Адам Фримен, Джозеф С. Ратц-мл.* LINQ: язык интегрированных запросов в C# 2010 для профессионалов = Pro LINQ: Language Integrated Query in C# 2010. М.: «Вильямс», 2011. С. 656. ISBN 978-5-8459-1701-0.

DEVELOPMENT OF THE SEARCH COMPONENT IN THE CORPUS OF TEXTS FOR LINGUISTIC RESEARCH SYSTEMS

Salakhov Roman D., Lanin Viacheslav V.

HSE University, 38, Studencheskaya st., Perm, 614070, Russia, vlanin@live.com

In corpora linguistics, the main research method is to test statistical hypotheses about a language by analyzing patterns among a large amount of data. Specialists often assemble new corpora or update existing ones, and the corpora themselves may have different markup, language, scope, and a wide range of other differences. However, for research it is often necessary to refer to many different corpora, and they, in turn, are often collected through various tools and can only be analyzed through them. In such a situation, the researcher has to study his own search tool for each new corpus, hence the problem of the lack of a single analysis tool through which different corpora could be investigated. In this paper, we consider the question of a possible formal query language for a universal module for searching through text corpora.

Keywords: corpus linguistics, linguistic research, search engines, formal languages.

ПОДВИЖНЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТА

Сидоренко Дмитрий Олегович, Городилов Алексей Юрьевич

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

В статье описан подход с использованием подвижного генетического алгоритма для решения задачи маршрутизации транспорта. Основным отличием подвижных генетических алгоритмов от классических является более гибкая схема кодирования решений, что актуально для задач со сложной структурой решения. В статье приведена математическая постановка задачи, описано два варианта кодирования особей и алгоритм пересчета вероятностей, формирующих хромосому в подвижном генетическом алгоритме. Выполнено сравнение данного подхода с другими существующими подходами решения поставленной задачи. Проведенные исследования позволяют утверждать, что применение подвижных генетических алгоритмов для решения задачи маршрутизации транспорта возможно и дает корректные результаты. Однако при больших объемах данных алгоритм работает слишком медленно, получаемые результаты оказываются значительно хуже результатов классического генетического алгоритма.

Ключевые слова: подвижный генетический алгоритм, задача маршрутизации транспорта.

На российском рынке логистических услуг большая часть от всего объема рынка логистики приходится на транспортную логистику, поскольку на территории России имеется множество автомобильных (841 тыс. км), железных (86 тыс. км) дорог и воздушных путей (800 тыс. км). В связи с этим управление транспортными потоками является важнейшим элементом логистики, при этом применение современных подходов позволит снизить общие экономические издержки и транспортные расходы [1]. При планировании поставок возникает задача построения оптимального маршрута для набора транспортных средств, которые должны посетить множество заданных объектов. Такая задача хорошо известна в теории графов и называется задачей маршрутизации транспорта. Задача является NP-трудной, поэтому на практике для ее решения применяют различные приближенные и эвристические алгоритмы, в том числе генетические алгоритмы (ГА) [2].

Исследования, касающиеся генетических алгоритмов, ведутся уже сравнительно давно, и по-прежнему активно развиваются. В частности, в последние годы появилось такое новое направление, как подвижные генетические алгоритмы [3, 4]. Учитывая специфику задачи маршрутизации транспорта и сложную структуру, описывающую решение задачи, интересным представляется исследование возможности построения подвижного генетического алгоритма для решения этой задачи.

Формализуем решаемую задачу в терминах теории графов. Пусть $V = \{v_0, v_1, \dots, v_N\}$ – множество вершин, v_0 – место начального расположения всех транспортных средств (депо), v_1, \dots, v_N – цели, которые необходимо посетить; M – количество транспортных средств; $C = \{c_{ij}\}$, $i, j \in [0, N]$ – квадратная матрица расстояний между вершинами, имеющая размерность $N+1$, c_{ij} – расстояние между вершинами v_i и v_j ; $R = \{R_i\}$, $i \in [1, M]$ – множество маршрутов транспортных средств, где $R_i = (j_{i,0}, j_{i,1}, \dots, j_{i,k})$ – маршрут i -го транспортного средства, представляющий собой последовательность номеров посещенных вершин, в

которой первый и последний элементы равны нулю ($j_{i,0} = j_{i,k} = 0$), что означает, что маршрут начинается и заканчивается в депо; $C(R_i) = c_{j_{i,0}, j_{i,1}} + c_{j_{i,1}, j_{i,2}} + \dots + c_{j_{i,k-1}, j_{i,k}}$ – длина маршрута.

Входными данными в задаче является матрица расстояний C и количество транспортных средств M . Решением задачи является такое множество маршрутов R , что все цели оказываются посещенными, при этом минимизируется суммарная длина всех маршрутов или максимальная из длин (что соответствует оптимизации времени на доставку).

Таким образом, оптимизируемая величина определяется следующим образом:

$$F = \sum_{j=1}^M C(R_j) \rightarrow \min \text{ или } F' = \max_{j \in [1, M]} C(R_j) \rightarrow \min. \quad (1)$$

В классическом ГА, описанном в [2], каждое решение кодируется одной хромосомой, представляющей собой перестановку на множестве чисел от 1 до N . Такая перестановка определяет последовательность посещения вершин, но не содержит разделения на маршруты. Решить задачу оптимального разбиения последовательности на маршруты можно, например, методом динамического программирования за время $O(N \cdot M)$. Таким образом, хромосома в таком алгоритме не кодирует явно одно допустимое решение, а является, по сути, промежуточным представлением, позволяющим впоследствии построить решение за полиномиальное время. В разработанном подвижном ГА применен аналогичный подход с использованием промежуточного представления, однако хромосома хранит не саму перестановку, а «предрасположенность» к превращению в ту или иную перестановку.

Рассмотрим два варианта кодирования. В первом перестановка представляется в виде кода факториального представления ее порядкового номера. Основным преимуществом данного кодирования является возможность использования стандартных генетических операторов, поскольку отдельные элементы кода являются независимыми.

Элементы кода перестановки обладают следующим свойством:

$$Val_i \leq N - i + 1, 1 \leq i \leq N \quad (2)$$

где i – позиция в коде перестановки, а Val_i – значение элемента на позиции i .

Хромосома будет представлять собой матрицу $P = \{p_{ij}\}$, $i, j \in [1, N]$, где p_{ij} – вероятность того, что ген на позиции i будет равен j . Для вероятностей, очевидно, должно выполняться условие, что сумма всех вероятностей для каждой позиции равна 1, то есть

$$\forall i: \sum_{j=1}^{N-i+1} p_{ij} = 1. \quad (3)$$

При вычислении приспособленности вначале матрица вероятностей трансформируется в код перестановки (i -й элемент кода принимает значение j с вероятностью p_{ij}). Затем по коду строится сама перестановка. Наконец, приспособленность вычисляется на основе формул (1).

При выполнении генетических операторов они применяются не только к самой хромосоме (матрице вероятностей), но и к соответствующему коду перестановки. После выполнения оператора вероятности для каждой позиции $i < N$ пересчитываются по следующему алгоритму. Пусть в коде перестановки на позиции i после выполнения оператора находится значение j . Тогда элемент матрицы p_{ij} необходимо увеличить, а все остальные ненулевые элементы i -й строки уменьшить. Вначале определяется предельная величина изменения

$$D_i = \max(p_{ij} + \eta_{ind}, 1 - \eta_{DR}) - p_{ij}, \quad (4)$$

где η_{ind} – индивидуальная скорость обучения, η_{DR} – коэффициент разнообразия (гиперпараметры подвижного ГА).

Далее определяется предельная величина уменьшения каждого элемента:

$$d_i = D_i / (cnt_i - 1), \quad (5)$$

где cnt_i – это количество ненулевых элементов в i -й строке.

Затем все остальные (находящиеся не в столбце j) ненулевые элементы i -й строки матрицы уменьшаются на величину

$$\delta_{ik} = p_{ik} - \min(p_{ik} - d_i, \eta_{DR}), k = 1..N - i + 1, k \neq j. \quad (6)$$

Наконец, элемент p_{ij} увеличивается на величину

$$\Delta_i = \sum_{k=1..N-i+1, k \neq j} \delta_{ik}. \quad (7)$$

Такой алгоритм пересчета гарантирует сохранение свойства (3).

Во втором варианте код перестановки не используется. Хромосома так же представляет собой матрицу вероятностей $P = \{p_{ij}\}$, $i, j \in [1, M]$, но p_{ij} здесь означает вероятность того, что i -й элемент самой перестановки равен значению j . За корректностью перестановки (чтобы все числа присутствовали в ней ровно один раз) будем следить в процессе ее формирования. Пусть $A(i)$ – список доступных значений для позиции i . Пересчитаем вероятность каждого из доступных значений по формуле $p_{ij}^* = p_{ij}/S_i$, где $S_i = \sum_{j \in A(i)} p_{ij}$, и выберем одно из них в

соответствии с полученными значениями. Далее все особи отсортируем по их приспособленности. Для лучших особей пересчитаем их хромосомы по формулам (4)–(7) аналогично тому, как это описано выше. Для худших особей их хромосомы также пересчитаем аналогично, но с точностью до знака (будем уменьшать вероятность появления соответствующих значений).

Оба описанных выше варианта были реализованы в виде компьютерной программы на языке C++. Исходный код программы находится в открытом доступе⁴³. Для сравнения была использована существующая реализация классического генетического алгоритма [5]. Для небольших размерностей входных данных ($N < 12$) также выполнялось сравнение с точным переборным алгоритмом. Тестирование проводилось на 7 тестах, со значениями гиперпараметров $\eta_{ind} = 0.05$, $\eta_{DR} = 0.005$, подобранными экспериментально. Время работы классического ГА на каждом тесте было ограничено 10 секундами. Для подвижного ГА помимо ограничения в 10 секунд было установлено минимальное количество итераций для завершения – 1000. Число особей в популяции после отбора было равно 60. Результаты исследования первого варианта реализации подвижного ГА приведены в таблице.

Таблица. Сравнение первого варианта реализации подвижного ГА с другими алгоритмами

| N | Точный алгоритм | Классический ГА | | Подвижный ГА | |
|-----|---------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|
| | Найденная суммарная длина | Найденная суммарная длина | Количество итераций | Найденная суммарная длина | Количество итераций |
| 5 | 2395 | 2395 | 4508046 | 2395 | 1164 |
| 10 | 2354 | 2354 | 3627050 | 2354 | 1000 |
| 20 | - | 1416 | 2835683 | 4782 | 1000 |
| 40 | - | 2136 | 1528882 | 13753 | 1000 |
| 60 | - | 2039 | 872248 | 19488 | 1000 |
| 80 | - | 2152 | 546916 | 27304 | 1000 |
| 100 | - | 2125 | 353726 | 36993 | 1000 |

Как видно из таблицы, при $N \leq 10$ оба ГА находят точные оптимальные решения. Однако при $N > 20$ подвижный ГА работает значительно хуже классического. Дальнейший анализ результатов показал, что в подвижном ГА не наблюдается стабильного роста средней приспособленности популяции, то есть алгоритм не сходится даже к точке локального экстремума. Одна из причин может заключаться в том, что очень похожие коды, кодируемые хромосомами, порождают совершенно разные перестановки. Одна из них может иметь высокую приспособленность, за счет этого она будет чаще участвовать в операциях

⁴³ https://github.com/DimaSidorenko/VPR.Fluid_Genetic_algorithm

скрещивания, вероятность появления соответствующего кода будет увеличиваться. Однако при этом повышается и вероятность появления похожих кодов, порождающих совсем другие перестановки с очень низкой приспособленностью. В результате средняя приспособленность популяции может не измениться или даже стать меньше. Еще один фактор, на который можно обратить внимание – подвижный ГА работает значительно медленнее классического. Как видно из таблицы, при $N \geq 10$ за 10 секунд не успевают завершиться даже 1000 итераций, в то время как количество итераций классического ГА оказывается значительно больше.

Результаты работы второго варианта реализации подвижного ГА оказались лишь на 10% лучше первого варианта, хотя из анализа графиков следует, что средняя приспособленность популяции стабильно растет. По всей видимости, в данном случае решающим становится ограничение в 1000 итераций, которых попросту не хватает для достижения экстремума.

Проведенные исследования позволяют утверждать, что применение подвижных генетических алгоритмов для решения задачи маршрутизации транспорта возможно и дает корректные результаты. При количестве целей $N \leq 10$ подвижный ГА позволяет получить точное решение. Однако при больших значениях N алгоритм работает слишком медленно, получаемые результаты оказываются значительно хуже результатов классического ГА. Выбор способа кодирования существенно влияет на результаты работы. Таким образом, дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию подвижного ГА, рассмотрение других способов кодирования и пересчета вероятностей, а также применение дополнительных оптимизационных эвристик.

Библиографический список

1. *Гончарова Ю.А.* Задачи маршрутизации при транспортировке: обзор моделей, методов и алгоритмов // *Логистика и управление цепями поставок.* 2019. № 4. С. 74–88.
2. *Prins C.* A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem // *Computers & Operations Research.* 2004. No 31. P. 1985-2002.
3. *Jafari-Marandi R., Smith B. K.* Fluid Genetic Algorithm (FGA) // *Journal of Computational Design and Engineering.* 2017. V. 4. P. 158–167.
4. *Hong H.* Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive neuro-fuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution // *Science of the Total Environment.* 2018. V. 621. P. 1124–1141.
5. *Capacitated Vehicle Routing Problem (3rd year course work)* [Электронный ресурс] URL: <https://github.com/Alexandr-TS/CVRP>.

FLUID GENETIC ALGORITHM FOR SOLVING THE VEHICLE ROUTING PROBLEM

Sidorenko Dmitry O., Gorodilov Aleksey Yu.

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

Abstract. The article describes an approach using a fluid genetic algorithm to solve the vehicle routing problem. The main difference between fluid genetic algorithms and classical ones is a more flexible coding scheme for solutions, which is relevant for problems with a complex solution structure. The article presents a mathematical formulation of the problem, describes two variants of encoding individuals and an algorithm for recalculating the probabilities that form a chromosome in a fluid genetic algorithm. This approach is compared with other existing approaches. The conducted research suggests that the use of fluid genetic algorithms to solve the vehicle routing problem is possible and gives correct results. However, the algorithm works too slowly on a big data, the obtained results are significantly worse than the results of the classical genetic algorithm.

Keywords: fluid genetic algorithm, vehicle routing problem

ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ МАСШТАБИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ СЕТЕВОГО ОБУЧЕНИЯ

Хомутов Ярослав Сергеевич

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

Организация сетевого обучения требует наличия информационной системы, отражающей функционал каждого из участников процесса и допускающей быстрое переформатирование при добавлении новых участников. В работе предложен возможный механизм такого процесса.

Ключевые слова: сетевое обучение, информационная система.

В данной работе описан основной функционал программы, позволяющей создавать логическую модель информационной системы поддержки сетевого обучения в соответствии с количеством организаций различного типа, участвующих в реализации определённой образовательной программы. Пользователь разработанного ПО имеет возможность с помощью графического интерфейса выбирать, какие конкретно виды организаций участвуют в создании такой программы и их количество соответственно. После данного выбора пользователю демонстрируется модель информационной системы на основе UML-диаграмм, описывающих компоненты системы и их поведение.

Особенность предложенного подхода состоит в том, что он позволяет «на лету» расширять состав информационной системы путем добавления в нее новых акторов. Примеры возникновения такой ситуации – переформирование системы при появлении в сетевой группе дополнительной организации – места прохождения практики, или еще одной образовательной платформы. Горизонтальное динамическое масштабирование в такой ситуации означает способность системы увеличивать свои возможности путем наращивания числа функциональных блоков путем добавления в нее новых ресурсов [1].

Соответствующая модель представлена тремя видами UML-диаграмм: прецедентов, классов и последовательности. На диаграмме прецедентов отражаются основные действующие лица системы, организации-пользователи, реализующие совместную образовательную программу, и их основные действия в данной ИС. На диаграмме классов каждый элемент системы демонстрируется в виде класса: его названия, полей и методов, здесь все понятия, используемые в системе: образовательная программа, учебная организация, обучающийся и т. д., представлены в виде компонентов, созданных в парадигме ООП. Диаграммы последовательности же подробно описывают внутренние процессы взаимодействия пользователей информационной системы во время разработки совместной образовательной программы. Этих трёх диаграмм вполне хватит для того, чтобы в достаточной мере показать логику работы ИС. Масштабируемость такой модели позволяет подстраивать её под конкретные требования заказчика, который нуждается в

проектировании подобной системы, продемонстрировав необходимую модель с конкретной выборкой организаций-партнёров.

Графический интерфейс пользователя программы достаточно прост – в нём присутствуют три выпадающих списка с числами от нуля до трёх, каждый из которых отвечает за количество организаций основных типов, которые принимают участие в создании совместной образовательной программы: образовательная организация, организация, осуществляющая обучения, и ресурсная организация [2]. При выборе нужного числа организаций конкретных типов пользователь здесь же может отобразить модель информационной системы, представленную вышеуказанными UML-диаграммами, каждую из которых вместе или по-отдельности можно сохранить на ПК в качестве изображений в формате «png» вместе с их описанием в формате «txt». Также пользователю предоставляется возможность подробно рассмотреть каждую из диаграмм в отдельной форме. Разумеется, при использовании разработанного программного обеспечения в соответствующих целях чаще всего задействовалось бы не более трёх организаций одновременно, но для большего эффекта масштабируемости было принято решение дать возможность добавлять до трёх организаций каждого типа в одну модель.

В первую очередь перед непосредственной разработкой вышеописанного ПО нужно было продумать его технический аспект. Самый главный вопрос был сформулирован следующим образом: «Как сделать так, чтобы UML-диаграммы генерировались при помощи программного кода прямо во время выполнения процесса?». Встроенные средства для проектирования UML-диаграмм некоторых IDE, как например, Visual Studio 2017, ограничивались лишь возможностью создания диаграммы классов на основе уже существующих в проекте классов – но здесь нужно было что-то большее для демонстрации модели в достаточной мере. Тогда было принято решение воспользоваться функционалом, предоставленным инструментом PlantUML [3].

PlantUML представляет собой проект с открытым исходным кодом, который позволяет посредством взаимодействия с интуитивно понятным языком с собственным синтаксисом быстро создавать UML-диаграммы, генерируемый список которых не ограничивается только лишь тремя вышеуказанными видами. В свою очередь PlantUML для непосредственной генерации изображения большинства видов диаграмм использует возможности другого программного обеспечения GraphViz [4], которое представляет из себя пакет утилит для автоматической генерации графов, заданных в виде описания на языке описания графов DOT. Функционалом PlantUML можно воспользоваться в своей программе, если подключить соответствующую библиотеку, написанную на языке программирования Java.

Текущее ПО было разработано в среде IntelliJ IDEA [5] с использованием высокоуровневого языка Java и библиотеки PlantUML. Для создания графического интерфейса пользователя была задействована библиотека Swing [6].

Как уже упоминалось ранее, пользователь данной программы имеет возможность подробно рассмотреть каждую из сгенерированных диаграмм. Графический интерфейс такой формы продемонстрирован на рисунке. В левой части данного окна расположена непосредственно сама диаграмма. Справа от неё – два больших текстовых поля с описанием диаграммы и построенным кодом на языке PlantUML для её генерации. Здесь же пользователь может сохранить диаграмму и её описание себе на ПК, выбрав соответствующие действия.

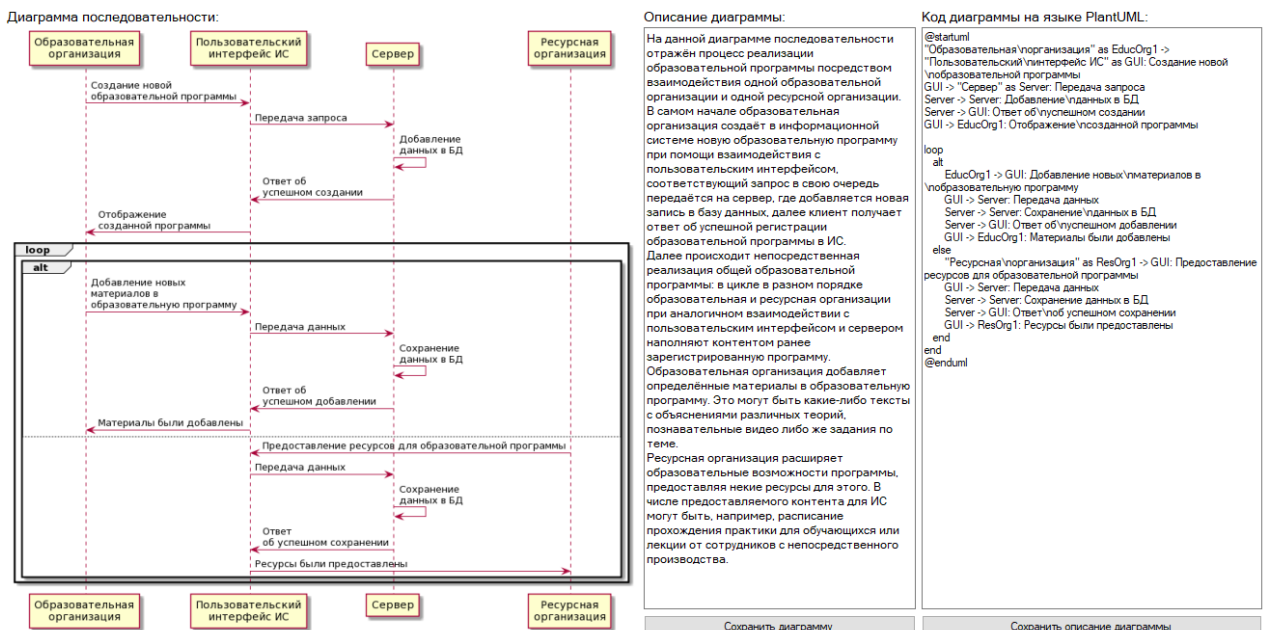


Рис. Подробный просмотр диаграммы

Если рассматривать программу в аспекте написания кода алгоритмов для корректного функционирования логики разрабатываемого ПО, то в первую очередь стоит упомянуть про алгоритм формирования строк для генерации диаграмм. Каждый раз, когда пользователь выбирает необходимые ему типы организаций, участвующих в создании образовательной программы, и их количество, а также выбирает элемент «Построить модель», для каждого вида UML-диаграммы строится определённая строка в соответствии с правилами языка, которые расписаны в «Справочном руководстве по языку PlantUML».

Каждая строка формируется по частям, учитывая ранний выбор пользователя. Для диаграммы прецедентов сперва описываются все акторы, участвующие в создании образовательной программы. Затем по определённому шаблону, зависящему от выборки организаций, в значение строки добавляются прецеденты. После этого так же по шаблону между вышеуказанными элементами описываются связи (ассоциации, обобщения, включения и расширения) на основе уникальных имён, которые были даны акторам и прецедентам.

В случае диаграммы классов в самом начале так же описываются все акторы системы, но уже в виде классов, а затем и остальные сущности системы. Посредством взаимодействия с языком PlantUML и синтаксисом, схожим с тем, что используется в объектно-ориентированных языках программирования, для каждого класса добавляются поля, методы с параметрами и спецификаторы доступа для каждого элемента. Заключительным этапом формирования строки является описание связей между уникальными классами в соответствии с их видами, указанными в стандарте UML.

В отличие от предыдущих двух типов диаграмм для каждой из диаграмм последовательности с описаниями системных процессов строка генерируется по другому принципу: здесь сразу же между линиями жизни уникально названных и непосредственно участвующих в процессе объектов указываются все сообщения, которыми обмениваются между собой все эти объекты. Далее все строки, каждая из которых отвечает за отдельную диаграмму, проходят в качестве параметров через встроенные в классы библиотеки PlantUML методы, которые и генерируют изображения с UML-диаграммами.

Схожим образом строятся и строки с описанием для всех видов диаграмм: каждый раз, когда к строке, которая будет формировать диаграмму, добавляется какая-то новая часть, будь то это актор, поле, метод, прецедент или связь, строка с описанием также расширяется

новыми данными о диаграмме, содержащими информацию о только что добавленном в неё элементе.

Таким образом, в тексте были описаны основные возможности и принципы работы программы с функционалом создания масштабируемой логической модели информационной системы для поддержки сетевого обучения. Данное ПО позволяет создавать модель ИС посредством генерации UML-диаграмм в соответствии с нуждами пользователя.

Библиографический список

1. Бойченко А.В., Рогожин Д.К., Корнеев Д.Г. Алгоритм динамического масштабирования реляционных баз данных в облачных средах. *Статистика и Экономика*. 2014;(6 (2)):461-465. [https://doi.org/10.21686/2500-3925-2014-6\(2\)-461-465](https://doi.org/10.21686/2500-3925-2014-6(2)-461-465)
2. Весна Е.Б., Гусева А.И. Модели взаимодействия организаций при сетевой форме реализации образовательных программ [Электронный ресурс] //Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6 – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=10934>, свободный. (дата обращения: 20.07.2021).
3. Справочное руководство по языку PlantUML [Электронный ресурс] //Официальный сайт PlantUML. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://plantuml.com/ru/guide>, свободный. (дата обращения: 22.07.2021).
4. Graphviz [Электронный ресурс] //Официальный сайт Graphviz. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://graphviz.org/>, свободный. (дата обращения: 22.07.2021).
5. IntelliJ IDEA [Электронный ресурс] // Официальный сайт Jet Brains. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.jetbrains.com/ru-ru/idea/>, свободный. (дата обращения: 22.07.2021).
6. Package javax.swing [Электронный ресурс] // Официальный сайт Oracle. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/javax/swing/package-summary.html>, свободный. (дата обращения: 22.07.2021).

HORIZONTAL DYNAMIC SCALING OF THE SYSTEM OF NETWORKED LEARNING

Khomutov Yaroslav S.

Perm State University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia, homutov-yarik@mail.ru

The organization of networked learning requires an information system that reflects the functionality of each of the participants in the process and allows for quick reformatting when new participants are added. The paper proposes a possible mechanism for such a process.

Keywords: networked learning, information system.

Научное издание

Математика и междисциплинарные исследования – 2021

Материалы
Всероссийской научно-практической конференции
молодых ученых с международным участием

(г. Пермь, 18–20 октября 2021 г.)

Издается в авторской редакции
Техническая подготовка материалов: *Д. Р. Бакирова*

Объем данных 8 Мб
Подписано к использованию 23.11.2021

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