Посвящается 100-летию Пермского университета

Открывая мир, создавая будущее

МАТЕМАТИКА И ГЛОБАЛЬНЫЕ ВЫЗОВЫ XXI ВЕКА

МАТЕМАТИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ – 2016

г. Пермь, 2016

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МАТЕМАТИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ – 2016

Сборник докладов
всероссийской научно-практической конференции молодых ученых
с международным участием

(г. Пермь, 16-19 мая 2016 года)

Пермь 2016

УДК 51:001

ББК 22.1:1

М 34

Математика и междисциплинарные исследования – 2016
М 34 [Электронный ресурс]: сб. док. всеросс. науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием (г. Пермь, 16–19 мая 2016 г.) / гл. ред. Ю.А. Шарапов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Электрон. дан. – Пермь, 2016. – 12 Мб. – 1 электрон.опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. требования: процессор IntelPentium, 1,3 ГГц; 40 Мб HDD; 256 Мб RAM; операц. система Windows 98 и выше; рек. разрешение 1024×576; CD-ROM или DVD-ROM. – Загл. с этикетки диска.

ISBN978-5-7944-2729-5

Сборник содержит 80 статей участников Всероссийской научно-практической конференции молодых учёных с международным участием «Математика и междисциплинарные исследования – 2016», посвященной 100-летнему юбилею ПГНИУ. Представлены работы вузов г. Перми, России и ближнего зарубежья.

Статьи конференции охватывают такие направления, как фундаментальная математика и информатика, механика деформируемого твердого тела, механика жидкости и газа, исследования поликристаллов, математическое моделирование в различных сферах, искусственный интеллект, прикладная лингвистика, а также современные методики преподавания.Каждая статья оценивалась индивидуально группой экспертов тех научных дисциплин, которые в ней отражены.Адресовано преподавателям, молодым ученым, аспирантам, студентам, а также всем, кто интересуется междисциплинарными исследованиями.

УДК 51: 001

ББК 22.1:1

Издается по решению ученого совета механико-математического факультета ПГНИУ

Редакционная коллегия: Ю.А. Шарапов (гл. ред.), А.А. Алабужев, А.О. Алексеев, В.Г. Алябьева, Е.А. Антинескул, В.Н. Аптуков, Н.Б. Асташина, Е.В. Бабушкина, И.А. Баландина, Е.Н. Батурин, Бузмакова, Г.С. Васёва, А.Ю. Внутских, Д.А. Гагарина, О.К. Гаришин, Д.С. Голдобин, О.И. Голева, А.Ю. Городилов, И.Л. Гуляева, Е.Ю. Данилова, В.А. Демин, К.В. Доможирова, Л.М. Ермакова, И.В. Зорин, И.Ю. Зубко, М.Б. Иванова, Ю.В. Каракулова, Н.Н. Картавых, Е.А. Керзина, А.Б. Крашенинников, А.Е. Кузнецов, Д.С. Курушин, Т.М. Лебедева, Е.В. Левченко, С.В. Лутманов, Л.Н. Лядова, П.В. Максимов, Б.С. Марышев, С.А. Меркушев, Е.Н. Мехонина, С.В. Мингалев, В.В. Морозенко, Е.Ю. Никитина, А.М. Ощепков, В.М. Пестренин, Д.А. Петров, Н.А. Петрова, М.А. Плаксин, Р.С. Пономарев, А.Н. Румянцев, С.В. Русаков, О.Л. Русакова, К.В. Рябинин, А.Л. Свистков, О.Ю. Сметанников, Т.Н. Соловьёва, Л.В. Спивак, Н.А. Стрелкова, Е.Л. Тарунин, О.В. Трошина, Е.К. Хеннер, А.П. Шкарапута, К.А. Юрков, В.И. Яковлев, Л.Н. Ясницкий.

ISBN 978-5-7944-2729-5

© Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

Акимова Н.Ю., Чичагов В.В.

О ВЛИЯНИИ ЦЕНЗУРИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДАННЫХ НЕПРЕРЫВНОГО ТИПА НА ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННОГО КРИТЕРИЯ ПИРСОНА ……13

Еремеева Ю.Д., Яковлев В.И.

ИСТОКИ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ В ТВОРЧЕСТВЕ ИСААКА НЬЮТОНА И ГОТФРИДА ВИЛЬГЕЛЬМА ЛЕЙБНИЦА……17

Иванисенко Н.С.

АНАЛОГ ФОРМУЛЫ ОСТРОГРАДСКОГО ДЛЯ СИМПЛЕКСА……26

Малых А.Е., Каленкова А.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ Л. ЭЙЛЕРОМ МАГИЧЕСКИХ КВАДРАТОВ……30

Фролов Ю.Ю.

ПОСТРОЕНИЕ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ОДНОГО КЛАССА НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ МЕТОДОМ ОСЦИЛЛИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ……35

Шалагинова Н.В., Вечтомов Е.М.

О ПОЛУКОЛЬЦАХ НЕПРЕРЫВНЫХ $(0, \infty]$-ЗНАЧНЫХ ФУНКЦИЙ ……39

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ

Брюхова К.С., Максимов П.В.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ, РЕАЛИЗОВАННОГО В ПАКЕТЕ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ANSYS……44

Макеева А.В., Стрелкова Н.А.

МИНИМИЗАЦИЯ ЛИНЕЙНОЙ КОМБИНАЦИИ ВРЕМЕНИ И РАСХОДА ТОПЛИВА В ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОДНОЙ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМОЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА ……48

Павлов И.В.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТА «S-ОБРАЗНОСТЬ ТЕПЛОВОГО ДРЕЙФА» ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ……52

Попов Ф.С.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПОРТЕВЕНА - ЛЕ ШАТЕЛЬЕ …56

Рубцова Д.М., Сметанников О.Ю.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАМОТКИ КОМПОЗИТНОЙ СИЛОВОЙ ОБОЛОЧКИ60

Соколов А.К., Терпугов В.Н.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА НАКОПЛЕНИЯ РАЗМЯГЧЕНИЙ В ШИНЕ ВО ВРЕМЯ РАЗГОНА АВТОМОБИЛЯ ……65

Фетисов К.В., Максимов П.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА БАЗЕ AUTODESK REVIT С ПОСЛЕДУЮЩИМ ЧИСЛЕННЫМ РАСЧЕТОМ В ANSYS MECHANICAL……70

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

Калинина М.А., Колчанов Н.В.

ВЛИЯНИЕ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА КОНВЕКЦИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ СЛОЕ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ ….76

Карсеко К.С., Горбаченко В.С.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ВЗРЫВА ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ПОМЕЩЕНИИ ……80

Колчанова Е.А.

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИЙ НА КОНКУРЕНЦИЮ КОРОТКОВОЛНОВЫХ И ДЛИННОВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ РАВНОВЕСИЯ В СЛОЯХ ЖИДКОСТИ И НАСЫЩЕННОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ ……84

Мальцев М.С., Свистков А.Л., Терпугов В.Н., Комар Л.А.

ИСПАРЕНИЕ МОЛЕКУЛ ОТВЕРДИТЕЛЯ В РЕАКЦИИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ……88

Мусинский А.Н., Пещеренко С.Н.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПОРНОЙ И СЕПАРАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРУЖНЫХ ВИХРЕВЫХ ГАЗОСЕПАРАТОРОВ ····· 92

Панкратов И.А.

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ТОКА ЦИРКУЛЯЦИИ ВОДЫ В ОЗЕРЕ ····· 97

Стряпунина А.А., Степина Е.В.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ····· 101

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ

Лоевец Д.А., Волегов П.С.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ ГЦК-МОНОКРИСТАЛЛА: ОПИСАНИЕ ЭФФЕКТА БАУШИНГЕРА ····· 107

Мандрыкин С.Д., Макаров Д.В.

ОРИЕНТАЦИОННАЯ ДИНАМИКА ХОЛЕСТЕРИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ МАГНИТНОМ ПОЛЕ ····· 111

Микрюков А.О., Волегов П.С.

ДВУХУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ НЕУПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ОЦК-ПОЛИКРИСТАЛЛА С УЧЕТОМ ОБРАТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ИТЕРМОАКТИВИРОВАННОГОДВИЖЕНИЯ ДИСЛОКАЦИЙ ····· 116

Никифоров А.С., Баранов М.А., Волегов П.С.

ДВУХУРОВНЕВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГЦК-ПОЛИКРИСТАЛЛА С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАЧАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ····· 120

Овчинников Е.И., Волегов П.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РОТАЦИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЕТОК И УПРОЧНЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ МЕЗОНАПРЯЖЕНИЙ В МОДЕЛИ НЕУПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛА ····· 124

Озерных В.С., Волегов П.С.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗЕРНОГРАНИЧНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ ····· 128

Селуков Д.Г., Волегов П.С.

ОПИСАНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА-ПЕТЧА В РАМКАХ ДВУХУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ НЕУПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛА ····· 132

Тельканов М.А., Волегов П.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ РОТАЦИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ НЕУПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЯХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ ····· 136

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ

Буряк Н.А., Кашников А.В.

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАТОПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК РУДНИКОВ НА МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ ····· 141

Долгая А.А.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ ЗЕМЛИ ····· 145

Кашников А.В.

ИНТЕГРАЦИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ····· 149

Феоктистова Е.В., Осипенко М.А., Куюкина М.С., Рубцова Е.В.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КЛАСТЕРОВ БАКТЕРИЙ В СИСТЕМЕ ВОДА-БАКТЕРИИ-УГЛЕВОДОРОД····· 154

Хамитова А.Н.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК БАЗАЛЬТОВОГО СЫРЬЯМЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕРМСКОГО КРАЯ ····· 158

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЖИЗНЬ ЧЕЛОВЕКА

Бахтин В.В.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОСТИ РЕЧИ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ И ПЕРВООБРАЗНЫХ ЗВУКОВЫХ ВОЛН····· 162

Киченко А.А.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ТРАБЕКУЛЯРНОЙ КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УСЛОВИЙ НАГРУЖЕНИЯ ····· 167

Мазалова А.О., Дударь О.И.

УПРУГАЯ СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ПЕРИОДОНТА ····· 171

Морозова С.С.

СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СВЕТОФОРА НА ПЕРЕКРЕСТКЕ175

Попов Н.В., Суворова В.А.

ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ····· 179

Хорошев Д.В., Ильялов О.Р.

ПОСТРОЕНИЕ ПОРОУПРУГОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ МЕЖПОЗВОНОЧНОГО ДИСКА В ПОЯСНИЧНОМ ОТДЕЛЕ ····· 184

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ

Бушмелева И.В., Горбушин А.А., Шатров А.В.

ТЕОРЕТИКО-ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОНТРАКТОВ····· 189

Бячкова А.А., Андреев Н.А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПОРТФЕЛЯ В РАМКАХ ПОДХОДА БРИНСОНА С УЧЕТОМ ТРАНЗАКЦИОННЫХ ИЗДЕРЖЕК ····· 193

Валитов Д.И., Спивак С.И., Райманова Г.К.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭКОНОМИКЕ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА РИСКОВ В СТРАХОВАНИИ ПРИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ···· 197

Вотинцева В.О., Сахипова М.С., Дерябин А.И.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ВЫБОРА МЕТОДИК ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ····· 201

Елтышев А.В.

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ ANYLOGIC ····· 208

Игошина Д.А.

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ОПТИМАЛЬНОГО ПОДБОРА КАНАЛОВ МАРКЕТИНГОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ····· 213

Ковалев С.С.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ И МУНИЦИПАЛЬНЫХ УСЛУГ ····· 219

Перминова Н.С.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФАЗОВЫХ ТРЕНДОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОПЕРАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БАНКА ····· 225

Плешкова И.О., Кушев В.О.

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ERP СИСТЕМ ДЛЯ МАЛОГО БИЗНЕСА ····· 229

Решетникова Е.А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ ТОВАРА НА ПРЕДПРИЯТИИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО СТОИМОСТИ ····· 234

Селетков И.П., Марценюк М.А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА МЕГАПОЛИСА С ПОМОЩЬЮ МАТРИЧНОГО НЕЧЁТКОГО КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА ····· 238

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ПРИКЛАДНАЯ ЛИНГВИСТИКА

ErmakovaL.

ITERATIVE MULTI-WORDCOLLOCATION EXTRACTIONMETHOD BASED ON MUTUAL INFORMATION ····· 243

Бармина Е.И., Бушуев Р.Н., Котельникова Н.В., Ланин В.В., Плотникова О.А.

СИСТЕМА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОРПУСОВ ТЕКСТОВ ····· 245

Латышев Д.И.

ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ЭКСПЕРТИЗЫ ВООРУЖЕНИЯ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ ····· 251

Нам А.И., Чуприна С.И., Костарева Т.А.

TAISIM: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОНТОЛОГИЙ ····· 256

Петрова А.Л., Соловьева А.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ БУКВ, ПЕРЕДАЮЩИХ ГЛАСНЫЕ, В ИТАЛЬЯНСКИХ, РУССКИХ, ФРАНЦУЗСКИХ И НЕМЕЦКИХ ПЕСЕННЫХ ТЕКСТАХ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ····· 261

Полушин Г.В.

СИСТЕМА ПОИСКА ДОКУМЕНТОВ, РЕЛЕВАНТНЫХ ЗАДАННОМУ ТЕКСТУ ····· 266

Постаногов И.С., Плешкова И.Ю.

УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ СИСТЕМ ПОИСКА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ ПО СТРУКТУРИРОВАННЫМ И НЕСТРУКТУРИРОВАННЫМ ИСТОЧНИКАМ ДАННЫХ····· 270

Суворова В.А., Бахтин В.В., Исаева Е.В.

ЭЛЕМЕНТЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЛИНГВИСТИКЕ: РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА····· 275

Шучалова Ю.С., Ланин В.В.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОРТАЛ ДЛЯ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ СТИЛЯ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ····· 280

Ященко Ю.В., Ященко А.В.

ВОЗМОЖНОСТИ РЕСУРСА «ИООИС» ДЛЯ АНАЛИЗА ИСТОЧНИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СИСТЕМ····· 285

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ

Афанасьева У.В., Шеремет Г.Г.

ПОСТРОЕНИЕ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ КРИВЫХ В ПРОГРАММЕ ЖИВАЯ ГЕОМЕТРИЯ 290

Баданина Д.Я., Чуприна С.И.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ВИЗУАЛЬНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЦЕСА СБОРКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ····· 294

Баранова Н.А., Банникова Т.М.

ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО СТИЛЯ УЧЕБНО-ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БАКАЛАВРА МАТЕМАТИКИ ····· 300

Галиакберова Ю.Г.

КОРРЕЛЯЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПЕРВОЙ СЕССИИ И БАЛЛОВ ЕГЭ ····· 304

Гребенщикова Д.П.

ДИДАКТИЧЕСКИЕ ИГРЫ НА МАТЕМАТИЧЕСКОМ МАТЕРИАЛЕ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ И СТУДЕНТОВ ····· 309

Гришин А.А., Соколов А.Н., Миндоров Н.И., Ромашкина Т.В.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ИЗУЧЕНИЯ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ C# ····· 313

Залогова Л.А.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОБЪЕКТОВ В ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОМ ПРОГРАММИРОВАНИИ ····· 317

Зверева А.Т., Чернышова А.В.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ДОСТИЖЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ····· 323

Казаринова Н.Л., Шевчук И.С.

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА СРАВНЕНИЯ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ ····· 329

Кантор Е.В., Кантор Г.Я.

ОБ ОДНОЙ ПОУЧИТЕЛЬНОЙ ОШИБКЕ В КЛАССИЧЕСКОМ УЧЕБНИКЕ ····· 333

Лопатин А.А., Чечулин В.Л.

К СТРУКТУРЕ ВЗАИМОСВЯЗИ КУРСОВ ДИСЦИПЛИН ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАТИКИ В ВУЗЕ····· 338

Назарова И.И.

ИЗУЧЕНИЕ ЛИНИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА В ОСНОВНОЙ ШКОЛЕ····· 341

Наметова К.Н.

КЕЙС-ЗАДАНИЯ КАК СРЕДСТВО ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ СТУДЕНТОВ ····· 346

Проничева С.А., Шеремет Г.Г.

ПЕРВЫЕ ШАГИ ВО ФРАКТАЛЬНУЮ ГЕОМЕТРИЮ ····· 351

Рылова В.С.

ЭЛЕКТИВНЫЙ КУРС «ИЗГИБАЕМЫЕ МНОГОУГОЛЬНИКИ И МНОГОГРАННИКИ»356

Старовойтова И.А., Старовойтов А.С.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ РЕШЕНИЙ ЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПРИ ОБУЧЕНИИ ОСНОВАМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ····· 360

Тетерин В.И., Камышев К.Д.

ПРЕОДОЛЕНИЕ ЭТНИЧЕСКИХ СТЕРЕОТИПОВ СРЕДИ УЧАЩЕЙСЯ МОЛОДЁЖИ ЗА СЧЁТ ВИДЕОМАТЕРИАЛОВ (НА ПРИМЕРЕ ФИЛЬМА «КРУТЫЕ ВИРАЖИ») ····· 366

Шадрина М.Н., Магданова И.В.

ЛОГИКО-ИСТОРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАК СРЕДСТВО ПОЗНАНИЯ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ МАТЕМАТИКИ ····· 370

Юдина А.В., Шеремет Г.Г.

ПРИМЕНЕНИЕ ОРИГАМИ В ПРОПЕДЕВТИЧЕСКОМ КУРСЕ ГЕОМЕТРИИ ····· 374

Юрченко Д.В.

ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНСТВА МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ НАГЛЯДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ····· 378

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА

УДК 004.94; 519.21

О ВЛИЯНИИ ЦЕНЗУРИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДАННЫХ НЕПРЕРЫВНОГО ТИПА НА ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННОГО КРИТЕРИЯ ПИРСОНА

Акимова Наталья Юрьевна, Чичагов Владимир Витальевич

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

Введено понятие цензурированных данных. Кратко описаны примеры использования таких данных. Рассмотрена задача проверки гипотезы о принадлежности функции распределения случайной величины X параметрическим экспоненциальным семействам. Приведены основные недостатки использования критерия согласия, получившего широкое распространение. Использован модифицированный критерий согласия Пирсона для полных данных и данных, цензурированных справа. Изучены формулы для вычисления статистик, используемых для проверки гипотезы. Получены расчетные формулы и произведено сравнение значений статистик модифицированного критериясогласия в зависимости от выбранного подхода обработки независимой выборки на примере показательного распределения.

Ключевые слова*:* цензурированные данные, модифицированный критерий согласия Пирсона.

Данные типа времени жизни часто являются неполными или цензурированными, то есть время жизни части наблюдаемых объектов неизвестно. Выборки, полученные по цензурированным данным, называют цензурированными выборками.

Цензурирование справа – наиболее часто встречающийся вид цензурирования. Будем считать, что время до отказа T_i i-го объекта известно, если $T_i \le C_i$; здесь $C_i \ge 0$ – случайная величина (СВ) или константа, называемая временем цензурирования справа.

В медицине в качестве неполных данных могут выступать времена жизни пациентов. В социальных науках – "длительность" брака.Вэкономических приложениях такими данными могут выступать значения срока службы различных активов.

Одной из основных задач теории проверки статистических гипотез является проверка гипотезы о виде распределения. Универсальными критериями для проверки гипотезы о виде распределения по негруппированной выборке являются модифицированные критерии согласия χ^2, описанные в [1, 2].

Проверка гипотезы о принадлежности функции распределения СВX параметрическому семейству с помощью критерия χ^2 Пирсона заключается в проверке сложной гипотезы

© Акимова Н. Ю., Чичагов В. В., 2016 г.

$H_0: P\left(X \in \Delta_j\right) = \pi_j(\boldsymbol{\theta}), \boldsymbol{\theta} = (\theta_1, \dots, \theta_s) \in \Theta, j = \overline{1, J-1}$, где $\{\Delta_j, j = \overline{1, J}\}$ – атомы разбиения носителя распределения СВXи$\pi_j(\boldsymbol{\theta})$–вероятность попадания этой СВ в интервал Δ_j, которая вычисляется с помощью функции распределения $F_0(x; \boldsymbol{\theta})$.

Целью настоящей работы является исследование влияния цензурирования индивидуальных данных непрерывного типа на принятие решения с помощью модифицированного критерия χ^2.

Классический критерий согласия Пирсона имеет следующие недостатки:

1) необходимость выбора интервалов в зависимости от полученной реализации СВ X: минимум пять наблюдений должны попадать в каждый интервал;
2) полученные оценки не являются оптимальными, поскольку они не используют все данные и их вычисление требует решения сложных систем уравнений;
3) асимптотически оптимальные оценки по всем данным не могут быть использованы в статистике Пирсона, поскольку предельное распределение статистики Пирсона зависит от неизвестных параметров.

Рассмотрим модификацию статистики Пирсона, которая не имеет вышеуказанных недостатков, для полных данных при отсутствии цензурирования:

$$Y_n^2 = X_n^2 + \frac{1}{n} v^T G^{-1} v, \tag{1}$$

где

$$X_n^2 = \sum_{i=1}^{k} \frac{(U_i - np_i)^2}{np_i} = \sum_{i=1}^{k} \frac{{U_i}^2}{np_i} - n, v = (v_1, \dots, v_s)^T, v_j = \frac{c_{1j} U_1}{p_1} + \dots + \frac{c_{kj} U_k}{p_k},$$
$$G = [g_{rr'}]_{s \times s}, g_{rr'} = i_{rr'} - \sum_{l=1}^{k} \frac{c_{lr} c_{lr'}}{p_l}, c_{ij} = \frac{\partial \pi_i(\widehat{\boldsymbol{\theta}}_{\boldsymbol{n}})}{\partial \theta_j}, \tag{2}$$

$i_{rr'}$ – элементы информационной матрицы $i\left(\widehat{\boldsymbol{\theta}}_{\boldsymbol{n}}\right)$, U_i – количество наблюдений, принадлежащих интервалу $i, \widehat{\boldsymbol{\theta}}_{\boldsymbol{n}}$ – оценка максимального правдоподобия (ОМП) по негруппированной выборке $\boldsymbol{X}, a_i = F_0^{-1}\left(P_i; \widehat{\boldsymbol{\theta}}_{\boldsymbol{n}}\right)$ – границыинтерваловразбиения, $p_i = \frac{1}{k}$, $P_i = p_1 + \dots + p_i, i = \overline{1, k}$.

Наиболее простым примером параметрических экспоненциальных семейств распределений является показательное распределение

$$H_0: F \epsilon \{G: G(x;\ \theta) = 1 - e^{-\theta x}, x \geq 0; \theta > 0\}. \tag{3}$$

Обозначим через $\widehat{\theta} = \frac{1}{\bar{X}}$ ОМП неизвестного параметра распределения (s = 1). Функция плотности распределения имеет вид $f(x;\ \theta) = \theta e^{-\theta x}, x \geq 0$.

Согласно формулам (1)-(2) получим$P_i = 1 - e^{-\widehat{\theta} a_i} => a_i = \frac{-\ln(1-P_i)}{\widehat{\theta}} = \frac{z_i}{\widehat{\theta}}, \frac{\partial a_i}{\partial \theta} = -\frac{z_i}{\widehat{\theta}^2}$,

$$c_i \coloneqq c_{i1} = -\frac{z_i}{\hat{\theta}^2}\hat{\theta}e^{-\hat{\theta}\frac{z_i}{\hat{\theta}}} - \left(-\frac{z_{i-1}}{\hat{\theta}^2}\hat{\theta}e^{-\hat{\theta}\frac{z_{i-1}}{\hat{\theta}}}\right) = \frac{z_{i-1}e^{-z_{i-1}} - z_i e^{-z_i}}{\hat{\theta}} = \frac{b_i}{\hat{\theta}}, i_{11} = \quad (4)$$

$$E_\theta\left(\frac{\partial \ln f(X_1;\hat{\theta})}{\partial\theta}\right)^2 = E_\theta\left(\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\ln\hat{\theta} - \hat{\theta}X_1\right)\right)^2 = D_\theta X_1 + \left(\frac{1}{\hat{\theta}} - E_\theta X_1\right)^2 = D_\theta X_1 + \left(\frac{1}{\hat{\theta}} - \frac{1}{\hat{\theta}}\right)^2 = \frac{1}{\hat{\theta}^2}.$$

В случае данных, цензурированных справа, критерий согласия основан на векторе $\boldsymbol{Z} = (Z_1, \dots, Z_k)^T$ различий между числом наблюдаемых и ожидаемых отказов в интервалах $I_j = \left(a_{j-1},\ a_j\right], a_0 = 0, a_k = \tau,\ U_j = \sum_{i:X_i \in I_j}\delta_i - \text{количествоотказовв}j - \text{оминтервале}, Z_j = \frac{1}{\sqrt{n}}\left(U_j - e_j\right), j = \overline{1,k}$.Для проверки гипотезы используется статистика

$$Y^2 = \boldsymbol{Z^T}\hat{V}^{-1}\boldsymbol{Z}, \quad (5)$$

$$\hat{V}^{-1} = \hat{A}^{-1} + \hat{A}^{-1}\hat{C}^T\hat{G}^{-1}\hat{C}\hat{A}^{-1}, \hat{G} = \hat{\imath} - \hat{C}\hat{A}^{-1}\hat{C}^T, \hat{V} = \hat{A} - \hat{C}^T\hat{\imath}^{-1}\hat{C}, \hat{\imath}_{ll'} =$$
$$\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n \delta_i \frac{\partial}{\partial\theta_l} ln\,\lambda\left(\mathrm{X_i}, \widehat{\boldsymbol{\theta}}\right)\frac{\partial}{\partial\theta_{l'}} ln\,\lambda\left(\mathrm{X_i}, \widehat{\boldsymbol{\theta}}\right), \hat{C}_{lj} = \frac{1}{n}\sum_{i:X_i\in I_j}\delta_i \frac{\partial}{\partial\theta_l} ln\,\lambda\left(\mathrm{X_i}, \widehat{\boldsymbol{\theta}}\right), \quad (6)$$
$$j = \overline{1,k}; l, l' = \overline{1,s}.$$

Здесь $\hat{A} = diag\left(\hat{A}_1, \dots, \hat{A}_k\right)$– диагональнаяматрицапорядка$k \times k$, $\hat{\imath} = [\hat{\imath}_{ll'}]_{s\times s}$, $\widehat{\boldsymbol{\theta}}$ – оценка максимального правдоподобия (ОМП) по негруппированной выборке $\boldsymbol{X}$.

Основная идея разбиения интервала [0; τ] *состоит в том, чтобы разделить его на* k *интервалов с равным ожидаемым количеством отказов.*

Определим

$$E_k = \sum_{i=1}^n \Lambda(X_i;\lambda), E_j = \frac{j}{k}E_k, j = \overline{1,k}.$$

Если i – наименьшее натуральное число такое, что $E_j \in [b_{i-1}, b_i], b_i = (n-i)\Lambda\left(X_{(i)};\ \widehat{\boldsymbol{\theta}}\right) + \sum_{l=1}^i \Lambda\left(X_{(l)};\ \widehat{\boldsymbol{\theta}}\right), \Lambda(t;\lambda) = \int_0^t \lambda(u)du = -\ln\left(1 - F\left(t;\widehat{\boldsymbol{\theta}}\right)\right), \lambda\left(t,\widehat{\boldsymbol{\theta}}\right) -$ функцияриска, то

$$F\left(\hat{a}_j;\widehat{\boldsymbol{\theta}}\right) = 1 - e^{-\gamma}, \text{где}\gamma = \frac{E_j - \sum_{l=1}^{i-1}\Lambda\left(X_{(l)};\ \widehat{\boldsymbol{\theta}}\right)}{n-i+1}, \hat{a}_j = \Lambda^{-1}\left(\frac{E_j - \sum_{l=1}^{i-1}\Lambda\left(X_{(l)};\ \widehat{\boldsymbol{\theta}}\right)}{n-i+1}, \widehat{\boldsymbol{\theta}}\right),$$

$$\hat{a}_k = X_{(n)} = \tau, e_j = \frac{E_k}{k}\text{для}\forall j, j = \overline{1,k-1}.$$

Рассмотрим в качестве примера случай показательного распределения (3).

Функция риска будет равна$\lambda(t;\ \lambda) = \lambda$, а ОМП неизвестного параметра $\hat{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{\sum_{i=1}^n X_i} = \frac{\delta}{S_n}$.

Согласно формулам (6) найдем$\hat{A}_j = \frac{U_j}{n}, \hat{C}_j = \frac{U_j}{n\hat{\lambda}}, \hat{\imath} = \frac{\delta}{n\hat{\lambda}^2}$.

Вычислим границы интервалов согласно формулам $E_j = \frac{j}{k}E_k, E_k = \hat{\lambda}S_n = \delta, \Lambda(t;\lambda) = \lambda t, \hat{a}_j = \frac{E_j - \sum_{l=1}^{i-1}\hat{\lambda}X_{(l)}}{\hat{\lambda}(n-i+1)} = \frac{\frac{j}{k}\hat{\lambda}S_n - \sum_{l=1}^{i-1}\hat{\lambda}X_{(l)}}{\hat{\lambda}(n-i+1)} = \frac{\frac{j}{k}S_n - \sum_{l=1}^{i-1}X_{(l)}}{n-i+1}, j = \overline{1,k-1}, \hat{a}_k = X_{(n)}$, где i наименьшее

натуральное число такое, что верно неравенство $S_{i-1} \le \frac{j}{k} S_n \le S_i, S_i = (n-i)X_{(i)} + \sum_{l=1}^{i} X_{(l)}, i = \overline{1,n}$.

Пример. Пусть даны времена отказов прибора (* - цензурированные значения): 2535*, 2535*, 1203, 246, 1851, 1107, 350, 2435, 733, 2535*, 2535*, 1580, 2535*, 2535*, 2535*, 2511, 210, 2535*, 70, 2535*, 2535*, 2535*, 1015, 2535*, 2535*, 1536, 734, 43, 1764, 580, 2535*, 1222, 2535*, 380, 306, 2114. Имеют ли времена отказов экспоненциальное распределение?

В случае, когда данные обрабатываются как цензурированные с использованием формул (5)-(6), получаем, что реальный уровень значимости равен $\alpha = 0{,}97$ и $Y^2 = 0{,}5$. Гипотеза о том, что времена отказов распределены экспоненциально, принимается.

Теперь предположим, что в выборке нет цензурированных значений: реальный уровень значимости равен$\alpha = 1{,}05 \times 10^{-8}$и$Y^2 = 42{,}98$. Нулевая гипотеза отвергается.

Результаты данной работы получены с использованием системы аналитических вычислений Mathematica 10.

В докладе на конференции также будут представлены результаты исследований для других гипотетических распределений и типов цензурирования.

Библиографический список

1. *Nikulin S. M., Kruopis J., Bagdonavicius V.* Nonparametric tests for censored data.–London, Hoboken:ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc. 2011. –245p.
2. *Nikulin S. M., Kruopis J., Bagdonavicius V.* Nonparametric tests for complete data.–London, Hoboken:ISTE Ltd and John Wiley & Sons, Inc. 2011. – 321p.

EFFECT OF CONTINUOUS INDIVIDUAL DATA'S CENSORINGDECISION-MAKING USING A MODIFIED PEARSON'S CHI-SQUARED TEST

Akimova Natalia U., Chichagov Vladimir V.

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

The concept of censored data was introduced. Examples of using such data were circumscribed briefly. The problem of testing the hypothesis of belonging a random variable to various parametric exponential families was investigated. The main drawbacks of using the classical Pearson's chi-squared test were given. Modified Pearson's chi-squared test for complete and right censored data was used. The formulas for computing the statistics that were used to test the hypothesis were close studied. Design formulas were derived and a comparison of statistic's valuesof modified Pearson's chi-squared testdepending on the chosen approach of the independent sample on the example of the exponential distribution was made.

Key words:censored data,modified Pearson's chi-squared test.

УДК 531.8

ИСТОКИ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ В ТВОРЧЕСТВЕ ИСААКА НЬЮТОНА И ГОТФРИДА ВИЛЬГЕЛЬМА ЛЕЙБНИЦА

Еремеева Юлия Дмитриевна, Яковлев Вадим Иванович

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, город Пермь, улица Букирева, 15, eremyl@mail.ru, iakovlev@psu.ru

Теоретические истоки современной механики, её связи с развитием математических наук уходят во времена Античности. Однако нынешнее представление о механике как о математической теории движения и равновесия тел начало складываться только в XVII веке. Именно в это время идеи количественной оценки движения тел, появившиеся в философских трудах оксфордских и парижских учёных в средние века, получили дальнейшее развитие. Это было время, когда внимание большинства видных математиков, физиков и механиков было привлечено к проблемам движения тел, к возможности описания движения средствами зарождающейся математики переменных величин. Изучение движения планет, движения брошенных тел, колебаний маятника, удара тел математическими методами было невозможно без использования некоторых количественных характеристик, в качестве которых стали выступать время, пройденный путь, скорость и ускорение движения, масса тела, сила.

Ключевые слова: дифференциальное исчисление, сохранение количества движения, количество движения, сила, масса.

Основные механические представления Ньютона представлены в его главном труде «Математические начала натуральной философии» (1687). Несмотря на то, что автор очень основательно отнёсся к определению используемых им понятий, там нет определения понятий скорости и ускорения. Можно предположить, что Ньютон их считал очевидными или обще принятыми, но из текста книги следует, что они не полностью совпадают с современными[2].

Согласно Ньютону: «Количество материи или масса есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объёму её» [1, с.24].

В самом деле, это определение предполагает предварительное определение плотности. Последнюю мы определяем сейчас как массу единицы объёма. Ньютон же в пояснении к определению подчёркивает, что от уплотнения частиц масса тела увеличивается, как, например, увеличивается масса воздуха при его сжатии, масса порошка или снега от сжатия или таяния; «при этом я не принимаю расчёт той среды, если таковая существует, которая свободно проникает в промежутки между частицами» [7]. Следовательно, плотность тела, по

© Еремеева Ю.Д., Яковлев В.И., 2016 г.

Ньютону, определяется числом частиц в единице объёма. Опытным путём масса определяется по весу тела, «ибо она пропорциональна весу, что мною найдено опытами над маятниками, произведёнными точнейшим образом...» [7].

То обстоятельство, что Ньютон указывает способ физического сравнения масс тел по их весам, позволяет забыть о зависимости его определения от натурфилософских воззрений. Масса Ньютона — это не мера инерции Декарта, это неизменное, не зависящее ни от каких обстоятельств количество вещества. Само собой разумеется, что масса обладает свойством аддитивности: в совокупности тел общее число частиц равно сумме частиц отдельных тел, и, следовательно, масса совокупности тел равна сумме масс отдельных тел. Однако Ньютон оговаривает специально не аддитивность массы, а аддитивность количества движения. Определив последнее как величину, пропорциональную произведению массы на скорость он добавляет: «Количество движения целого есть сумма количеств движения отдельных частей его» [6, с. 123].

Понятие количества вещества имеет метафизический оттенок, пока не указаны способы его измерения. Вес — это внешнее действие на материю, переменное по своему характеру, и потому не может быть отождествлён с тем неизменным атрибутом тела, каким, по Ньютону, является масса. В чём же проявляется масса тела? Ответом на этот вопрос является: «Врождённая сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, удерживает своё состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Эта сила,— добавляет Ньютон,— пропорциональна массе, и если отличается от инерции массы, то разве только воззрением на неё» [1, с. 25].

Вот здесь-то и вводится обычное физическое определение массы как меры инерции. Инерция тела проявляется двояко — как сопротивление и как напор: «Как сопротивление — поскольку тело противится действующей на него силе, стремясь сохранить своё состояние; как напор — поскольку то же тело, с трудом уступая силе сопротивляющегося ему препятствия, стремится изменить состояние этого препятствия» [7]. Инерция является изначальным неизменным атрибутом материи, её «врождённой силой», поэтому её вполне можно отождествить с количеством вещества. Пропорциональность её весу является случайным, необъяснимым обстоятельством.

Если к категории массы Ньютон подходит с позиций атомизма, то к категории силы он подходит в своеобразном картезианском духе, а именно — с точки зрения теории поля. Современная теория поля — это математическая разработка картезианской идеи

физического пространства, и основные понятия этой теории установлены в ньютоновых «Началах».

Определив силу как «действие», производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения», Ньютон указывает на внешний по отношению к телу характер этого действия. Сила может быть произведена ударом, давлением и, наконец, некоторым силовым центром. Это последнее действие Ньютон считает необходимым определить полнее и точнее, так как его книга посвящена изучению и описанию движения планет под действие притяжения Солнца.

«Центростремительная сила есть та, с которой тела к некоторой точке как к центру отовсюду притягиваются, гонятся или как бы то ни было стремятся» [1, с. 26].

Таким полем центростремительных сил является пространство вокруг Земли, пространство вокруг магнита, пространство вокруг Солнца. Центростремительная сила в каждой точке такого пространства определяется мощностью самого силового центра, положением точки воздействия и, наконец, массой тела, помещённого в эту точку. В связи с этим Ньютон различает в центростремительной силе три фактора её: абсолютную, ускорительную и движущую величину.

«Абсолютная величина центростремительной силы есть мера большей или меньшей мощности самого источника её распространения из центра в окружающее её пространство» [1, с. 27].

«Ускорительная величина центростремительной силы есть мера, пропорциональная той скорости, которую она производит в течение данного времени» [1,с. 28].

«Движущая величина центростремительной силы есть её мера, пропорциональная количеству движения, которое ею производится в течение данного времени» [1,с. 28].

То, что Ньютон называет «ускорительной силой», есть не что иное, как напряжённость силового поля — фундаментальное понятие теории силового поля. Движущая сила пропорциональна как напряжённости поля, так и массе тела. Её можно измерить статическим методом, прилагая к телу силу, препятствующую его перемещению под действием силового поля. Ньютон подчёркивает, что вводимые им понятия являются математическими характеристиками поля. «Эти понятия должно рассматривать как математические, — заявляет он,— ибо я ещё не обсуждаю физических причин и места нахождения сил» [7]. И несколько ниже он ещё раз указывает: «Название же «притяжение», «натиск», или «стремление» я употребляю безразлично одно вместо другого, рассматривая эти силы не физически, а математически, поэтому читатель должен позаботиться, чтобы ввиду таких названий не думать, что я ими хочу определить самый характер действия или физические

причины происхождения этих сил, или же приписывать центрам действительно и физически силы, хотя я и буду говорить о силах центров и о притяжении центрами» [7].

Следовательно, Ньютон не склонен объективизировать силу. Он рассматривал её как математическую категорию, которая позволяет описать то взаимодействие тел, результатом которого являются их ускорения.

«Количество движения есть мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе» [1, с. 24]. Ньютон ясно осознавал векторный характер скорости, а значит, и количества движения, ставшего в динамике основной мерой движения. Стоит заметить, что законы сохранения количества движения и скорости центра тяжести — следствие из законов раздела «аксиомы или законы движения»: «центр тяжести системы двух или нескольких тел от взаимодействия тел друг на друга не изменяет ни своего состояния покоя, ни движение; поэтому центр тяжести системы всех действующих друг на друга тел при отсутствии внешних действий и препятствий или находится в покое, или движется равномерно и прямолинейно» [1, с. 47].

Введённые понятия позволили Ньютону сформулировать во втором предварительном разделе «аксиомы или законы движения».

Закон I. Всякое тело продолжает удерживаться в своём состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не принуждается приложенными силами изменять это состояние.

Закон II. Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.

Закон III. Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе взаимодействия двух тел друг на друга между собою равны и направлены в противоположные стороны.

После законов идут Следствия: правило параллелограмма для сложения сил, законы сохранения количества движения и скорости центра тяжести, механический принцип относительности. Вводная часть «Начал» заканчивается изложением элементов теории удара. Ньютон замечает, что результаты Х. Гюйгенса и К. Рена (1632 – 1723) верны только для «абсолютно твёрдых или вполне упругих тел». Результаты же экспериментов самого автора показывают, что скорость тела после удара меньше его скорости до удара. Ньютоновская идея введения коэффициента восстановления позднее стала общепринятой, а установленные им значения коэффициента для некоторых соударяющихся тел близки к современным.

В силу научных традиций той эпохи, законы не имели математических выражений и формировались только словесно. Это обстоятельство породило массу вопросов

проницательных читателей. Особенно это касалось второго закона, который многочисленные комментаторы «Начал» упорно интерпретировали формулой

$$d\mathbf{v}/dt = m\mathbf{a} = \mathbf{F},$$

считая, что, говоря об изменении движения, Ньютон имел в виду изменение количества движения, а изменение — это производная. Если же под изменением автор понимал разность за некоторое время Δt, то тогда под силой понимался импульс силы $\mathbf{F}\Delta t$. Но все эти попытки «уберечь Ньютона от якобы сделанной им ошибки», как писал гарвардский профессор И. Б. Коэн (1914 - 2003), бессмысленны. Ньютон пользовался научными категориями своего времени, они были понятны его современникам. И только после Ньютона, и благодаря ему, стало возможным уточнение законов механики до современных представлений.

У Лейбница нет столь фундаментального труда по механике как «Начала» Ньютона. Однако механике посвящены многие достаточно известные публикации: «Теория абстрактного движения (1671), «Теория конкретного движения» (1671), «Краткое доказательство удивительной ошибки Декарта …» (1686), «Применение динамики к законам движения…», « Динамика сил и законов природы тел» (1691), «Образец динамики» (1695) и другие. Следуя Декарту, он считал, что масса есть «первичная материя», наделённая «протяжённостью», непроницаемостью и сопротивлением или инерцией. Все эти свойства считаются однородными и равномерно распределёнными в теле. Тем самым Лейбниц вводит характеристики пассивности материи.

Понятием, противоположным первичной материи, является «вторичная материя» — материя, наделённая активностью. Понятие «сила», обобщающее первичную и вторичную материю, таким образом, включает «пассивную силу» или массу и «активную силу», аналогичную душе живых существ и придающую движению реальность. В свою очередь «активные силы» подразделяются на «простейшие», присутствующие в любой материальной субстанции, и «производящие силы», являющиеся результатом взаимодействия тел, «…что некоторые называют «импетусом», то есть конатусом или стремлением к определённому движению…» [5, с. 471].

Позднее Лейбниц пополнил свою теорию сил ещё двумя понятиями — мёртвая сила и живая сила. Мёртвая сила — это, например, давление, которое или производит движение или стремится его произвести. Живая сила существует в движении. Но между этими силами есть взаимосвязь: всем телам присуща собственная сила, между движением и покоем нет качественного различия, живая сила возникает из импульсов мёртвой силы.

В формулировке Декарта, без определения понятия массы и осознания векторного характера скорости, закон сохранения количества движения был ошибочен. Лейбниц писал:

«В физике Декарта имеется большая ошибка; она состоит в том, что его правила движения или законы природы, которые должны быть фундаментом, в большинстве своём ошибочны. Этому есть доказательство. И его великий принцип о том, что количество движения в мире сохраняется, является заблуждением» [5, с. 474]. В работе 1686 года на смену принципу Декарта, Лейбниц предлагает свой принцип сохранения: «Разумно говорить, что в природе сохраняется одна и та же сумма движущих сил, что эта сумма не убывает, так как мы никогда не видели, чтобы тело потеряло какую-то силу, которая не трансформировалась бы в другую, и, тем более, что эта сумма не возрастает, так как вечное движение нереально и никакая машина, а, следовательно, и весь мир, не может сохранять свою силу без новых импульсов извне» [5, с. 474].

Лейбниц принимает идею сохранения в качестве основного принципа механики и ищет истинную величину, определяющую стабильность мира. Опираясь на работы Гюйгенса, Лейбниц предлагает измерять количество движения, не величиной, пропорциональной скорости, а величиной пропорциональной квадрату скорости. Именно таково, по его логике, математическое выражение живой силы. А принцип сохранения он понимает как неизменность суммы живых и мёртвых сил в каждый момент времени. Математическое выражение этого принципа (аналог теоремы изменения кинетической энергии) было дано последователем Лейбница - И.Бернулли (1667 – 1748)[3].

Понятие силы в философской механике Лейбница было достаточно неоднозначным, но играло очень важную роль. Свою механику или теорию сил он называл динамикой (от древнегреческого dynamis – сила). Позднее этим термином стали пользоваться многие учёные, и он укоренился в механике как название теории движения тел под действием сил.

Математика в творчестве Ньютона была могучим средством синтетического исследования природы. Характерно, что даже сама терминология нового исчисления бесконечно малых, введённая Ньютоном: «флюксия», «флюента», «момент», взята из механических образов и в этом смысле значительно конкретнее «дифференциалов» и «интегралов» Лейбница.

Служебная практическая роль математики в руках Ньютона не умаляет, конечно, значения его великих открытий в этой области. Новые запросы физики требовали и новой математики, новых методов. Анализ бесконечно малых был совершенно необходим для разрешения задач новой механики. Физика и математика всегда помогали одна другой. При этом иногда физика опережала математику, ставя перед ней новые задачи, иногда, наоборот, в математике создавались целые большие разделы и главы. Именно поэтому Ньютон создал

свой метод, опираясь на прежние открытия, сделанные им в области анализа, но в самом главном вопросе он обратился к помощи геометрии и механики.

В «Анализе с помощью уравнений с бесконечным числом членов», написанном в 1665 году, Ньютон изложил свои результаты в учении о бесконечно малых рядах, в приложении рядов к решению уравнений. В 1670—1671 годах Ньютон стал готовить к изданию более полную работу — «Метод флюксий и бесконечных рядов». Лишь в 1704 году вышел первый из всех трудов Ньютона по анализу, написанных им в 1665—1666 годах. Ещё через семь лет опубликовали «Анализ с помощью уравнений с бесконечным числом членов». «Метод флюксий» увидел свет только после смерти автора в 1736 году.

Долгое время Ньютон и не подозревал, что на континенте успешно занимается подобной проблемой немец Лейбниц. До поры до времени высоко ценившие заслуги друг друга, в конце концов, учёные и их сторонники втянулись в жестокую полемику о приоритете открытия исчисления бесконечно малых.

В 1676 году Лейбниц выработал первые основания великого математического метода, известного под названием «дифференциальное исчисление». Несомненно, что открытие Лейбница по общности, удобству обозначения и подробной разработке метода стало орудием анализа значительно могущественнее и популярнее Ньютонова метода флюксий.

Математический метод Лейбница находится в теснейшей связи с его позднейшим учением о монадах — бесконечно малых элементах, из которых он пытался построить Вселенную. Математическая аналогия, применение теории наибольших и наименьших величин к нравственной области дали Лейбницу то, что он считал путеводною нитью в нравственной философии.

В 1684 году Лейбниц напечатал в журнале «Труды учёных» систематическое изложение начал дифференциального исчисления. То, что смутно представлялось умам лучших французских и английских математиков, исключая Ньютона, обладавшего своим методом флюксий, стало вдруг ясным, отчётливым и общедоступным, чего нельзя сказать о гениальном методе Ньютона.

Лейбниц видел в своих дифференциалах и интегралах всеобщий метод, сознательно стремился к созданию жёсткого алгоритма упрощённого решения ранее не решавшихся задач.

Ньютон же нисколько не заботился о том, чтобы сделать свой метод общедоступным. Его символика введена им лишь для «внутреннего», личного потребления, и он её строго не придерживался.

В письме, написанном в июне 1677 года, Лейбниц прямо раскрывал Ньютону свой метод дифференциального исчисления. Тот на письмо Лейбница не ответил. Ньютон считал, что открытие принадлежит ему навечно. При этом достаточно того, что оно было запрятано лишь в его голове. Учёный искренне считал: своевременная публикация не приносит никаких прав.

Приведённая краткая сравнительная характеристика некоторых механических идей Ньютона и Лейбница, показывает, что в конце XVII века существовала насущная необходимость в создании физико-математической теории движения тел. Этими проблемами были заняты умы большинства учёных этого века. Их физические представления о причинах и свойствах движения тел во многом совпадали. И Ньютон, и Лейбниц почти одновременно увлеклись созданием нового математического аппарата, получившего (по инициативе Лейбница) название дифференциального и интегрального исчисления. Динамика Лейбница получила дальнейшее развитие в русле идей Ньютона[4].

Библиографический список

1. *Ньютон И.* Математические начала натуральной философии //Собр. тр. акад. А.Н. Крылова.Т.7. М.-Л. Изд-во АН СССР, 1936.
2. *Кирсанов В.С.* Научная революция 17 века. М.: Наука, 1987.
3. *Григорьян А.Т.* Механика от античности до наших дней. М.: Наука, 1974.
4. *Яковлев В.И.* Начала механики. М.: Ижевск, РХД, 2005.
5. *Dugas R.* La mécanique au XVII siecle. Neuchâtel: Griffon, 1954.
6. *Успехи физических наук.* М.: Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 1987. Т151, №1.
7. История физики. Том 1. От античной физики до Менделеева. URL: (http://physiclib.ru) (дата обращения: 11.01.2016).

THE ORIGINS OF THEORETICAL MECHANICS IN THE WORKS OF ISAAC NEWTON AND GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ

Eremeeva Julia D., Yakovlev Vadim I.

Perm State University, st. Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990, eremyl@mail.ru, iakovlev@psu.ru

Theoretical origins of modern mechanics, its relation with the development of mathematical Sciences go in the time of Antiquity. However, the current understanding of the mechanics as the mathematical theory of motion and equilibrium of bodies began to take shape only in the XVII century. It was at this time the idea of a quantitative assessment of the motion of bodies, which appeared in the philosophical writings, Oxford and Paris scholars in the middle ages, were further

developed. It was a time when the attention of the most eminent mathematicians, physicists and engineers have been attracted to the problems of motion to describe the motion by means of the emerging mathematics of variables. The study of the motions of the planets, the movements of the abandoned bodies, of the pendulum, impact of solids mathematical methods was impossible without the use of some quantitative characteristics, which have become time, the traversed path, speed and acceleration of movement, weight, force.

Key words: differential calculus, conservation of momentum, quantity of motion, force, mass.

УДК 51

АНАЛОГ ФОРМУЛЫ ОСТРОГРАДСКОГО ДЛЯ СИМПЛЕКСА

Иванисенко Наталья Сергеевна

Донецкий национальный университет, 83001, Украина, г. Донецка, ул. Университетская, 24,
ivanisenko.n.s@gmail.com

В работе рассматривается симплекс $\mathbf{S}_4 = \{x \in \mathbb{R}^4 : x_1 + x_2 + x_3 + x_4 \le 1, \quad x_j \ge 0, \quad j = 1,2,3,4\}$ с вершинами $z_0(0,0,0,0)$, $z_1(1,0,0,0)$, $z_2(0,1,0,0)$, $z_3(0,0,1,0)$, $z_4(0,0,0,1)$. Для данного симплекса получены формулы, аналогичные формуле Остроградского, в четырехмерном пространстве, позволяющих выразить интеграл от некоторого оператора, действующего на заданную функцию, через значения интеграла по подмножествам границы симплекса меньшей размерности. Теорема, приведенная в работе, содержат информацию о том, какими допустимыми дифференциальными операторами следует подействовать на достаточно гладкую функцию, чтобы интеграл по симплексу, от данных конструкций выражался через значения некоторых дифференциальных операторов от функции в объемных телах симплекса $z_0z_1z_2z_3$, $z_0z_1z_2z_4$, $z_0z_2z_3z_4$ (т.е. всевозможных тетраэдрах имеющих вершину в начале координат). С помощью данных формул могут быть уточнены оценки радиуса Помпейю, полученных Волчковым В.В. для многогранников в n - мерном пространстве.

Ключевые слова: симплекс, локальный вариант проблемы Помпейю.

Пусть $\mathbb{R}^n$ – вещественное евклидово пространство размерности $n \ge 2$ с евклидовой нормой $|\cdot|$, обозначим через $\mathbf{M}(n)$ – группа движений $\mathbb{R}^n$, через $\mathrm{Mot}(A,B) = \{\lambda \in \mathbf{M}(n) : \lambda A \subset B\}$ – часть группы движений, оставляющая A внутри B, пусть $\mathrm{B}_R = \{x \in \mathbb{R}^n : |x| < R\}$ – шар радиуса R.

Компактное множество $A \subset \mathbb{R}^n$ называется множеством Помпейю в $\mathbb{R}^n$, если всякая локально суммируемая функция $f : \mathbb{R}^n \to \mathbb{R}$, для которой $\int_{\lambda A} f(x)dx = 0$ при всех $\lambda \in \mathbf{M}(n)$, равна нулю почти всюду. Классическая проблема Помпейю состоит в описании класса $\mathrm{Pomp}(\mathbb{R}^n)$ таких множеств A.

Сформулируем одну из возможных постановок локального варианта указанной проблемы.

Пусть функция f локально суммируема в шаре B_R и равенство $\int_{\lambda A} f(x)dx = 0$ выполняется при всех $\lambda \in \mathrm{Mot}(A, \mathrm{B}_R)$. Если из этого условия следует, что $f = 0$ в B_R почти

© Иванисенко Н.С., 2016 г.

всюду, будем говорить, что A является множеством Помпейю в B_R и обозначать $A \in \mathrm{Pomp}(\mathrm{B}_R)$. Для многих множеств A это имеет место, если размеры B_R достаточно велики по сравнению с A (см. [1],[2]). В связи с этим в работе [3] поставлена следующая

Проблема. Дляданного A найти $\mathrm{R}(A) = \inf\{R > 0 : A \in \mathrm{Pomp}(\mathrm{B}_R)\}$.

В частности, верхняя оценка $\mathrm{R}(A)$ была получена для многогранников в $\mathbb{R}^n$ (см. [3]). Для симплексов в $\mathbb{R}^4$ она может быть уточнена с помощью, выведенных в работе формул, аналогичных формуле Стокса.

Перед формулировкой основного результата, введем следующие дифференциальные операторы: $q_1 = \frac{\partial}{\partial x_1} - \frac{\partial}{\partial x_2}$, $q_2 = \frac{\partial}{\partial x_1} - \frac{\partial}{\partial x_3}$, $q_3 = \frac{\partial}{\partial x_1} - \frac{\partial}{\partial x_4}$, $q_4 = \frac{\partial}{\partial x_2} - \frac{\partial}{\partial x_3}$, $q_5 = \frac{\partial}{\partial x_2} - \frac{\partial}{\partial x_4}$,

$q_6 = \frac{\partial}{\partial x_3} - \frac{\partial}{\partial x_4}$, $q_7 = \frac{\partial}{\partial x_1}$, $q_8 = \frac{\partial}{\partial x_2}$, $q_9 = \frac{\partial}{\partial x_3}$, $q_{10} = \frac{\partial}{\partial x_4}$, $q^{**} = q_1 + q_2 + q_3$, $N_1 = q_{10}q_3q_5q_6q^{**}$,

$$N_{0,1,2,3} = \int_0^1 dx_1 \int_0^{1-x_1} dx_2 \int_0^{1-x_1-x_2} [(q_{10}q_3q_5q_6 f)(x_1, x_2, x_3, 1-x_1-x_2-x_3) - q_{10}q_3q_5q_6 f)(x_1, x_2, x_3, 0)]dx_3,$$

$$N_{0,1,2,(1)} = \int_0^1 dx_1 \int_0^1 [-(q_{10}q_3q_6 f)(x_1, x_2, 1-x_1-x_2, 0) + (q_{10}q_3q_6 f)(x_1, x_2, 0, 0)]dx_2,$$

$$N_{0,1,3,(1)} = \int_0^1 dx_1 \int_0^{1-x_1} [-(q_{10}q_3q_5 f)(x_1, 1-x_1-x_3, x_3, 0) + (q_{10}q_3q_5 f)(x_1, 0, x_3, 0)]dx_3,$$

$$N_{0,2,3,(1)} = \int_0^1 dx_2 \int_0^{1-x_2} [3(q_{10}q_3q_5 f)(1-x_2-x_3, x_2, x_3, 0) - 3(q_{10}q_3q_5 f)(0, x_2, x_3, 0)]dx_3,$$

$$N_{0,1,(1)} = \int_0^1 (-q_{10}q_5 - q_{10}q_6)(f)(x_1, 0, 0, 0)dx_1, \qquad N_{0,2,(1)} = \int_0^1 (3q_{10}q_3 f)(0, x_2, 0, 0)dx_2,$$

$$N_{1,2,(1)} = \int_0^1 (q_{10}q_5 + 3q_{10}q_3)(f)(x_1, 1-x_1, 0, 0)dx_1, \qquad N_{1,3,(1)} = \int_0^1 [(q_{10}q_6 f)(x_1, 0, 1-x_1, 0)]dx_1,$$

$$N_{2,4,(1)} = \int_0^1 (q_{10}q_5 f)(0, x_2, 0, 1-x_2)dx_2, \quad N_{3,4,(1)} = \int_0^1 (q_{10}q_6 f)(0, 0, x_3, 1-x_3)dx_3, \quad N_{0,(1)} = q_6 + q_5 + 3q_3,$$

$$N_{1,(1)} = 6q_{10}, \qquad N_{4,(1)} = -3q_3 - q_5 - q_6 - 6q_{10}, \qquad N_{0,p,q,(1)} = N_{0,1,2,3,(1)} + N_{0,1,2,(1)} + N_{0,1,3,(1)},$$

$$N_{0,k,l,(1)} = N_{0,2,3,(1)} + N_{0,1,(1)} + N_{0,2,(1)} + N_{1,2,(1)} + N_{1,3,(1)} + N_{2,4,(1)},$$

$$N_{m,(1)} = N_{3,4,(1)} + +(N_{0,(1)} f)(z_0) + (N_{1,(1)} f)(z_1) + (N_{4,(1)} f)(z_4),\ N_2 = q_6q_4q_2(q_1 + q_2 + q_3),$$

$$N_{0,1,2,4} = \int_0^1 dx_1 \int_0^{1-x_1} dx_2 \int_0^{1-x_2-x_4} [-(q_6q_4q_2 f)(x_1, x_2, 1-x_1-x_2-x_4, x_4) + (q_6q_4q_2 f)(x_1, x_2, 0, x_4)]dx_4,$$

$$N_{0,1,2,(2)} = \int_0^1 dx_1 \int_0^{1-x_2} [-(q_6q_4 f)(x_1, x_2, 0, 1-x_1-x_2) + (q_6q_4 f)(x_1, x_2, 0, 0)]dx_2,$$

$$N_{0,1,4,(2)} = \int_0^1 dx_1 \int_0^{1-x_1} [-(q_6q_4 f)(x_1, 1-x_1-x_4, 0, x_4) + (q_6q_4 f)(x_1, 0, 0, x_4)]dx_4,$$

$$N_{0,2,4,(2)} = \int_0^1 dx_2 \int_0^{1-x_2} [(3q_6q_2 f)(1-x_2-x_4, x_2, 0, x_4) - (3q_6q_2 f)(0, x_2, 0, x_4)]dx_4,$$

$$N_{0,2,(2)} = \int_0^1 (-q_6 f)(0, x_2, 0, 0) dx_2,\ N_{0,3,(2)} = \int_0^1 (3q_2 - q_4 + q_6)(f)(0, 0, x_3, 0) dx_3,$$

$$N_{0,4,(2)} = \int_0^1 (-3q_2 + q_4)(f)(0, 0, 0, x_4) dx_4,\ N_{1,3,(2)} = \int_0^1 (3q_2 f)(x_1, 0, 1 - x_1, 0) dx_1,$$

$$N_{1,4,(2)} = \int_0^1 (-3q_2 f)(x_1, 0, 0, 1 - x_1) dx_1,\ N_{2,3,(2)} = \int_0^1 (-q_4 f)(0, x_2, 1 - x_2, 0) dx_2,$$

$$N_{2,4,(2)} = \int_0^1 (q_4 + q_2)(f)(0, x_2, 0, 1 - x_2) dx_2,\ N_{3,(2)} = -2,\ N_{4,(2)} = 2,$$

$$N_{0,p,q,r} = N_{0,1,2,(2)} + N_{0,1,4,(2)} + N_{0,2,4,(2)},$$

$$N_{k,l,(2)} = N_{0,2,(2)} + N_{0,3,(2)} + N_{0,4,(2)} + N_{1,3,(2)} + N_{1,4,(2)} + N_{2,3,(2)} + N_{2,4,(2)},$$

$$N_{m,(2)} = (N_{3,(2)} f)(z_3) + (N_{4,(2)} f)(z_4),\ N_3 = q_5 q_4 q_1 (q_1 + q_2 + q_3),$$

$$N_{0,2,3,4} = 3 \int_0^1 dx_2 \int_0^{1-x_2} dx_3 \int_0^{1-x_2-x_3} [(q_3 q_2 q_1 f)(1 - x_2 - x_3 - x_4, x_2, x_3, x_4) - (q_3 q_2 q_1 f)(0, x_2, x_3, x_4)] dx_4,$$

$$N_{0,1,3,4} = \int_0^1 dx_1 \int_0^{1-x_1} dx_3 \int_0^{1-x_1-x_3} [-(q_5 q_4 q_1 f)(x_1, 1 - x_1 - x_3 - x_4, x_3, x_4) + (q_5 q_4 q_1 f)(x_1, 0, x_3, x_4)] dx_4,$$

$$N_{0,1,3,(3)} = \int_0^1 dx_1 \int_0^{1-x_1} [-(q_5 q_4 f)(x_1, 0, x_3, 1 - x_1 - x_3) + (q_5 q_4 f)(x_1, 0, x_3, 0)] dx_3,$$

$$N_{0,1,4,(3)} = \int_0^1 dx_1 \int_0^{1-x_1} [-(q_5 q_4 f)(x_1, 0, 1 - x_1 - x_4, x_4) + (q_5 q_4 f)(x_1, 0, 0, x_4)] dx_4,$$

$$N_{0,3,4,(3)} = \int_0^1 dx_3 \int_0^{1-x_3} [-(3q_5 q_1 f)(1 - x_3 - x_4, 0, x_3, x_4) + (3q_5 q_1 f)(0, 0, x_3, x_4)] dx_4,$$

$$N_{0,2,(3)} = \int_0^1 (-3q_1 - q_4 - q_5)(f)(0, x_2, 0, 0) dx_2,\ N_{0,3,(3)} = \int_0^1 (q_5 f)(0, 0, x_3, 0)] dx_3,$$

$$N_{0,4,(3)} = \int_0^1 (3q_1 + q_4)(f)(0, 0, 0, x_4) dx_4,\ N_{1,2,(3)} = \int_0^1 -(3q_1 f)(x_1, 1 - x_1, 0, 0) dx_1,$$

$$N_{1,4,(3)} = \int_0^1 (3q_1 f)(x_1, 0, 0, 1 - x_1) dx_1,\ N_{2,3,(3)} = \int_0^1 (q_4 f)(0, x_2, 1 - x_2, 0) dx_2,$$

$$N_{3,4,(3)} = \int_0^1 (q_4 - q_5)(f)(0, 0, x_3, 1 - x_3) dx_3,\ N_{2,(3)} = 2,\ N_{4,(3)} = -2,$$

$$N_{0,p,q,(3)} = N_{0,1,3,(3)} + N_{0,1,4,(3)} + N_{0,3,4,(3)},$$

$$N_{k,l,(3)} = N_{0,2,(3)} + N_{0,3,(3)} + N_{0,4,(3)} + N_{1,2,(3)} + N_{1,4,(3)} + N_{2,3,(3)} + N_{3,4,(3)},$$

$$N_{m,(3)} = (N_{2,(3)} f)(z_2) + (N_{4,(3)} f)(z_4),\ N_4 = q_3 q_2 q_1 q^*,$$

$$N_{0,2,3,(4)} = \int_0^1 dx_2 \int_0^{1-x_2} [(q_3 q_2 f)(0, x_2, x_3, 1 - x_2 - x_3) - (q_3 q_2 f)(0, x_2, x_3, 0)] dx_3,$$

$$N_{0,2,4,(4)} = \int_0^1 dx_2 \int_0^{1-x_2} [(q_3 q_2 f)(0, x_2, 1 - x_2 - x_4, x_4) - (q_3 q_2 f)(0, x_2, 0, x_4)] dx_4,$$

$$N_{0,3,4,(4)} = \int_0^1 dx_3 \int_0^{1-x_3} [(q_3 q_1 f)(0, 1 - x_3 - x_4, x_3, x_4) - (q_3 q_1 f)(0, 0, x_3, x_4)] dx_4,$$

$$N_{0,1,(4)} = \int_0^1 (q_2 + q_3)(f)(x_1, 0, 0, 0) dx_1,\ N_{0,3,(4)} = \int_0^1 (-q_3 f)(0, 0, x_3, 0) dx_3,$$

$$N_{0,4,(4)} = \int_0^1 (-q_1 - q_2)(f)(0, 0, 0, x_4) dx_4,\ N_{1,2,(4)} = \int_0^1 (-q_1 f)(x_1, 1 - x_1, 0, 0) dx_1,$$

$$N_{1,3,(4)} = \int_0^1 (-q_2 f)(x_1, 0, 1 - x_1, 0) dx_1,\ N_{1,4,(4)} = \int_0^1 (q_1 f)(x_1, 0, 0, 1 - x_1) dx_1,$$

$N_{2,4,(4)} = \int_0^1 (-q_1 f)(0, x_2, 0, 1-x_2)dx_2,\ N_{3,4,(4)} = \int_0^1 (-q_2 + q_3)(f)(0, 0, x_3, 1-x_3)dx_3,\ N_{1,(4)} = -2,$
$N_{4,(4)} = 2,\ N_{0,p,q,(4)} = N_{0,2,3,(4)} + N_{0,2,4,(4)} + N_{0,3,4,(4)},$

$N_{k,l,(4)} = N_{0,1,(4)} + N_{0,3,(4)} + N_{0,4,(4)} + N_{1,2,(4)} + N_{1,3,(4)} + N_{1,4,(4)} + N_{2,4,(4)} + N_{3,4,(4)},$

$N_{m,(4)} = (N_{1,(4)} f)(z_1) + (N_{4,(4)} f)(z_4).$

Теорема. Пусть $G = \{(i, j, r) : i = 1, 2, \quad j = 2, 3,\ j > i, \quad r = 3, 4, r > j\}.$

Тогдадляпроизвольнойфункции $f \in \square^{34}(\mathbf{S}_4)$ выполняется следующееравенство:

$$\int_{S_4} (N_s f)(x)dx = N_{0,i,j,r,(s)} + N_{0,p,q,(s)} + N_{0,k,l,(s)} + N_{m,(s)}, s \in [1,4], i, j, r \in G.$$

Библиографическийсписок

1. *Berenstein C. A.* Le probleme de Pompeiu locale // J. Anal. Math. 1989. V. 52. P. 133-166.
2. *Berenstein C. A.* A local version of the two-circles theorem // Israel J. Math. 1986. V. 55. P. 267-288.
3. *Volchkov V.V.* Integral Geometry and Convolution Equations // Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 2003. P. 454.

ANALOG OSTROGRADSKII FORMULA FOR THE SIMPLEX

Ivanisenko NataliaS.

Donetsk National University, st. University 24, Donetsk, Ukraine, 83001
ivanisenko.n.s@gmail.com

The paper deals with the simplex $\mathbf{S}_4 = \{x \in \square^4 : x_1 + x_2 + x_3 + x_4, 1, \quad x_j . . 0, \quad j = 1, 2, 3, 4\}$ with the vertices $z_0(0,0,0,0)$, $z_1(1,0,0,0)$, $z_2(0,1,0,0)$, $z_3(0,0,1,0)$, $z_4(0,0,0,1)$. For the simplex to obtain formulas similar to Ostrogradskii formula, in four-dimensional space, allowing to express the integral of an operator acting on a predetermined function of the values of the integral over the subset of the boundary of the simplex smaller dimension. The theorem given in the work, provides information about what the allowable differential operators should act on a sufficiently smooth function to the integral over the simplex, from the data structures expressed by the values of some of the functions of differential operators in the bulk solids simplex $z_0z_1z_2z_3$, $z_0z_1z_2z_4$, $z_0z_2z_3z_4$ (i.e., all possible tetrahedrons having vertex at the origin). With the help of these formulas may be more accurate assessment Pompeiu radius obtained by V.V. Volchkov for polyhedra in n - dimensional space.

Keywords: simplex, a local version of Pompeiu problem.

УДК 517.3

ИССЛЕДОВАНИЕ Л. ЭЙЛЕРОМ МАГИЧЕСКИХ КВАДРАТОВ

Малых Алла Ефимовна, Каленкова Алёна Сергеевна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 614000, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 24, malych@pspu.ru

Исследования Леонарда Эйлера касаются различных естественно-научных дисциплин. Представляют интерес его комбинаторные работы, относящиеся к решению классических комбинаторных задач. Часть неопубликованных материалов находится в его «записных книжках». Указаны исследования ученого, касающиеся теории магических квадратов.Эйлер первым подробно изучил их, пытаясь найти наиболее простойметод построения.Он сформулировал правила построениямагических квадратов 3–6 порядков, иллюстрировав каждое конкретными примерами;осуществилих подсчет. Нами показано, что ученыйсоздал теоретические основы построения латинских квадратов.

Ключевые слова: классические комбинаторные задачи;магические,латинские квадраты.

Леонард Эйлер (1707–1783) занимался исследованиями в различных областях математики. Большойинтерес он проявлял и к комбинаторномуанализу, написав более полутора десятка мемуаров. К их числу относятся классические комбинаторные задачи. Часть из них указана в статье [1].Нами рассмотрены *магические квадраты* (ниже *м.к.*). Под нимиученый понимал квадратные таблицы, каждая размера $n \times n$, заполненные так, что суммы чисел, стоящих в каждой из строк, каждом из столбцов и на каждой из двух главных диагоналей, равны. Две заметки о них находятсяв первой и шестойнеопубликованных «записных книжках», относящихся к периодам1725–1727 гг.и1754–1757 гг.

Интерес к *м.к.* возник с IVв. до н.э.Ученые разных стран разрабатывали методы их построения, которые хранили в тайне. Эйлер первым подробно исследовал *м.к.*,представил правила их построения, подкрепив каждое конкретными примерами.

Числа, из которых состоит *м.к.*,он назвал *элементами*, а n –его *порядком*. Автор рассмотрел *м.к.*, элементами которых являются членыарифметической прогрессии,различая при этом *совершенныем.к.* и *несовершенные.*Для первых условие магичностивыполнялосьдополнительно и вдоль всех ломаных диагоналей. Так, он сформулировал теорему и ее следствие, представленные в виде двух утверждений. В первом было указано, что из любой арифметической прогрессии можно составить *м.к.*, притом совершенный. Второе имело формулировку: «Если последовательность чисел конечного ряда, взятых в естественном порядке 1,2,…,9, образует *м.к.*, то четные числа должны

© Малых А.Е., Каленкова А.С., 2016 г.

располагаться в его вершинах» [2, с. 3]. На основе этих утверждений Эйлер построил *м.к.*для $n = 3$. Впоследствии он сформулировал задачу построения *м.к.* в виде двух проблем, используя алгебраическийметод, идля каждой привел конкретные примеры. В первой необходимо было построить *м.к.*этого порядка с$d = a$ и постоянной магической суммойS. Задача сводилась к нахождению a_1. Во второй проблеме требовалось построить *м.к.*для $n = 3$ с постоянной суммой b, зная $a_1 = a$. Для заполнения необходимо отыскать d. При решении ученый обозначил a через $x + y$.Откуда $y = a - x$, а $3y = 3a - 3x$ (1). Зная из предыдущей проблемы, что $b = 15x + 3y$, он выразил $3y = b - 15x$ (2). Приравняв правые части (1) и (2), он определил $12x = b - 3a$, откуда $x = \frac{b}{12} - \frac{a}{4}$. Подставив найденное выражение в y, получил $y = \frac{5a}{4} - \frac{b}{12}$.

Наиболее подробно Эйлер исследовал *м.к.* в мемуаре [3]. При построении автор вначале составлял латинскую и греческую таблицы, названные так ученым в соответствии с алфавитом. Их он заполнял с учетом следующих четырех условий: 1) латинские буквы вписывают в каждую ячейку квадрата так, чтобы они не повторялись по строкам и столбцам; 2) аналогично вписывают x греческих букв; 3) каждая латинская буква должна сочетаться с каждой греческой; 4) никакая упорядоченная пара не встречается дважды [2].Результирующую таблицу автор получал наложением латинской и греческой. Учитывая 1–4,он выполнил построения*м.к.* для n = 3–6. Для каждого из порядков ученый указал правила составления *м.к.*, выполнил их подсчет. Следует отметить, что методы заполнения буквами существенно отличались друг от друга. Автор привел также примеры, определив допустимые значения букв.

$a\gamma$	$b\beta$	$c\alpha$
$b\alpha$	$c\gamma$	$a\beta$
$c\beta$	$a\alpha$	$b\gamma$

Рис. 1

Эйлер начал с рассмотрениялучая $n = 3$.Он составил две таблицы, состоящие из латинскихи греческих букв с учетомусловий 1–4. При этом в каждом случае на одной из диагоналей встречались все три буквы, а на другой −одна и та же.Наложением этих таблиц он получал итоговую (рис. 1). Используя условие магичности для каждой из двух диагоналей, ученый получил соотношения для латинских букв $a + b + c = 3c$, откуда $a + b = 2c$. Аналогичноевыполнялось и для греческих $\alpha + \beta + \gamma = 3\gamma$, $\alpha + \beta = 2\gamma$. После рассмотрения многочисленных примеров автор пришел к выводу: для $n = 3$ существует только один *м.к.* Остальные отличаются от него лишь расположением строк и столбцов. Далее ученый определил возможные значения букв: $a, b, c \in \{0,3,6\}$, а $\alpha, \beta, \gamma \in \{1,2,3\}$. Исходя из условия, что суммы элементов каждой из двух

диагоналей должны быть одинаковыми, он нашел возможные значения букв: $a = 0,\ b = 6,$ $c = 3$ или$a = 6,\ b = 0,\ c = 3;\ \alpha = 1,\ \beta = 3,\ \gamma = 2$ или $\alpha = 3,\ \beta = 1,\ \gamma = 2.$

$a\alpha$	$b\delta$	$c\beta$	$d\gamma$
$d\beta$	$c\gamma$	$b\alpha$	$a\delta$
$b\gamma$	$a\beta$	$d\delta$	$c\alpha$
$c\delta$	$d\alpha$	$a\gamma$	$b\beta$

Рис. 2

$a\alpha$	$a\delta$	$d\beta$	$d\gamma$
$d\alpha$	$d\delta$	$a\beta$	$a\gamma$
$b\delta$	$b\alpha$	$c\gamma$	$c\beta$
$c\delta$	$c\alpha$	$b\gamma$	$b\beta$

Рис. 3

Далее Эйлер исследовал *м.к.четвертого* порядка. Метод ихзаполнения существенно отличался отрассмотренного ранее. Автор всегданачинал с построения таблицы, состоящейиз латинских букв. Он построил два неизоморфных типа *м.к.*,используя комбинаторные соображения. В первом случае Эйлер начинал с первой строки, где размещал латинские буквы в естественном порядке(рис. 2). Затем заполнял главную диагональ, после чего строил таблицу, исходя из условия 1. В квадрате второго типа в двух строках были записаны по две буквы a и d или по две b и c. Он содержал две пары одинаковых столбцов. При этом сумма пар букв a и d, b и c была в два разаменьше суммы всех четырех (рис. 3).

В отличие от первого случая ученый не составлял таблицу, состоящую из греческих букв. При построении автор приписывал к латинским буквам греческие, начиная с главной диагонали так, чтобы латинской букве была поставлена в соответствие греческая, занимающая такое же место в лексикографическом порядке. Дальнейшее заполнение происходило в ячейках, симметричных относительно главной диагонали, учитывая условия 3 и 4. Он представил соотношения между латинскими и греческими буквами в виде: $a + d = b + c, \alpha + \delta = \beta + \gamma,$ откуда $a,\ b,\ c,\ d \in \{0,4,8,12\}$, а$\alpha,\ \beta,\ \gamma,\ \delta \in \{1,2,3,4\}$.

Ученый исследовал также *м.к.*для $n = 5$. Он показал, что их значительно больше, чем для $n = 3$ и 4.Используя комбинаторные инварианты, Эйлер доказал, что существует только дватипа *м.к.* пятого порядка. Один из них былциклическим. Заполнение греческими буквами начиналось в нем с третьего столбца. При построении *м.к.* второго типа вначале заполнялись третья строка латинскими буквами в лексикографическом порядке слева направо и третий столбец снизу вверх.Затем вдоль главной диагонали записывалась c . Далееавтор расставлял оставшиеся латинскиебуквы вдоль строкслева направо и столбцов снизу вверх.Заполнениегреческими буквами начиналось с третьей строки, а в следующие записывались в циклическом порядке (рис. 4).Автор указал также возможные значения латинских $a,\ b,\ c,\ d,\ e \in \{0,5,10,15,20\}$ игреческих $\alpha,\ \beta,\ \gamma,\ \delta,\ \varepsilon \in \{1,2,3,4,5\}$ букв.

$c\delta$	$d\varepsilon$	$E\alpha$	$a\beta$	$b\gamma$
$b\varepsilon$	$c\alpha$	$D\beta$	$e\gamma$	$a\delta$
$a\alpha$	$b\beta$	$C\gamma$	$d\delta$	$e\varepsilon$
$e\beta$	$a\gamma$	$B\delta$	$c\varepsilon$	$d\alpha$
$d\gamma$	$e\delta$	$A\varepsilon$	$b\alpha$	$c\beta$

Рис. 4

Для $n = 6$ Эйлерполучил 22 неизоморфных вида*м.к.* В [2] он ограничился рассмотрением только одногочастного случая. Для негоученый использовал метод, полученный ранее припостроении*м.к.* второго типа для $n = 4$. Авторразбил *м.к.*начетыре магическихподквадратаподпорядка 3одинакового состава.В каждой строке магическогоподквадрата повторялась одна из букв: a, b, d, e или f. Они содержали 3 одинаковых столбца латинских букв. Заполнение греческими буквами начиналось с главной диагонали ипродолжалось по столбцам (рис. 5). Как и в предыдущих случаях, автор указал допустимые значения латинских $a, b, c, d, e, f \in \{0,6,12,18,24,30\}$ и греческих $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \varphi \in \{1,2,3,4,5, 6\}$ букв.

$a\alpha$	$a\varphi$	$a\beta$	$f\varepsilon$	$f\gamma$	$f\delta$
$f\alpha$	$f\varphi$	$f\beta$	$a\varepsilon$	$a\gamma$	$a\delta$
$b\alpha$	$b\varphi$	$b\beta$	$e\varepsilon$	$e\gamma$	$e\delta$
$e\varphi$	$e\alpha$	$e\varepsilon$	$b\beta$	$b\delta$	$b\gamma$
$c\varphi$	$c\alpha$	$c\varepsilon$	$d\beta$	$d\delta$	$d\gamma$
$d\varphi$	$d\alpha$	$d\varepsilon$	$c\beta$	$c\delta$	$c\gamma$

Рис. 5

Интерес Эйлера к выбранной тематике не угасал на протяжении всей его жизни. Последний объемный мемуар был опубликован им в 1782 г. и касался исследования новых типов квадратов, названных ученым латинскими. В статье [3] показано, что он заложил теоретические основы таких конструкций, опередив тем самым на несколько десятков лет исследования по теории групп. Таким образом, работа, которую Эйлер считал бесполезной, оказалась спустя 100 лет весьма ценной и имела многочисленные приложения в различных областях науки и техники.

Библиографический список

1. *Малых А.Е., Бойко А.С.* Развитие Леонардом Эйлером некоторых классическихкомбинаторных задач // В сб. «Математический вестник педвузов и университетов Волго-Вятского региона». Киров: ВятГГУ, 2015. Вып. 17. С. 34– 39.
2. *Euler L.* De quadratismagicis. Opera Omnia, 1923. Vol. I7. P. 593–622.
3. *Euler L.* Recherches sur une nouvelle especе de carresmagique. Opera Omnia, 1923. Vol. I7. P. 291–392.

RESEARCH BY L. EULER OF MAGIC SQUARES

Malykh Alla E., Kalenkova Alena S.

Perm State Humanitarian Pedagogical University, st.Sibirskaja, 24, Perm, Russia, 614000, malych@pspu.ru

Research of Leonard Euler concerning different natural-scientific disciplines.His combinatorial works, relating to the solution of classical combinatorial problems, represent interest. Part of his unpublished materials is in his «notebooks». Scientific research, concerning the theory of magic

squares, is shown. Euler was the first who studied them in detail, trying to find the easiest construction method. He formulated the rules of construction for magic squares of orders 3–6, illustrated each with concrete examples, and performed calculations of them. We have shown the theoretical foundation of construction of latin squares by this scientist.

Keywords: classical combinatorial problems; magic, latin squares.

УДК 517.91

ПОСТРОЕНИЕ ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ ОДНОГО КЛАССА НЕЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ МЕТОДОМ ОСЦИЛЛИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ

Фролов Юрий Юрьевич

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

В работе дается алгоритм построения приближенного решения одного класса нелинейных обыкновенных дифференциальныхуравнений 2-го порядка с начальными условиями, которые является моделью, описывающая реакции происходящие в атомных реакторах. Такие задачи рассматривались в работе JackWacki[1]. В этой работе вопрос о построении приближённого решения не ставился, рассматривалась постановка задачи и условия существования единственного решения с заданными начальными условиями. В настоящей работе приближённое решение строится в виде сплайнов 2-го порядка, в которых коэффициенты a_k определяется из условия осциллируемости невязки и склейки в точках $t = t_k$(то есть из требования непрерывности приближённого решения и его производной в точках стыка $t = t_k$). Показана возможность определения коэффициентов сплайнов при условии наложенном на $h = \max_k(t_{k+1} - t_k)$ (то есть при определенной разбивке промежутка, построения приближённого решения $t_0 \le t_1 \le t_2 \le \cdots t_{n-1} = T$). Показано, что такое h всегда можно подобрать. Полученные оценки погрешности, позволяют найти область расположения точного решения. Оценки носят апостериорный характер. Если нелинейность входит в уравнение в виде ряда по степеням искомого решения, можно получить априорную оценку погрешности, что отмечено в замечании и иллюстрируется примером, решенным в пакете Mathematica. Алгоритм базируется на методе осциллирующих функций [2].

Ключевые слова**:** нелинейные дифференциальные уравнения, метод осциллирующих функций, модель реакций, происходящих в атомных реакторах.

Рассмотрим дифференциальное уравнение

$$x``+ f(x, x`) + a(t)g(x) = r(t), \quad (1)$$

с начальными условиями

$$x(t_0)=c,\ x`(t_0) = b. \quad (2)$$

Модель таких уравнений рассматривалась в работе JackWacki [1], описывающая реакции, происходящие в атомных реакторах.

Предполагается, что известны оценки для точного решения x(t) и производной x`(t): $c - A \le x(t) \le c + A, b - B \le x`(t) \le b + B.$

Функции f(x, x`),g(x),a(t),r(t) непрерывно – дифференцируемые в области (D):

$$t_0 \le t \le T,$$

© Фролов Ю.Ю., 2016 г.

$$c - A - \varepsilon \le x(t) \le c + A + \varepsilon,$$
$$b - B - \varepsilon_1 \le x`(t) \le b + B + \varepsilon_1,$$

где $\varepsilon, \varepsilon_1$ – наперёд заданные оценки погрешности построения приближенного решения. Предполагаем, что в области (D) имеют место оценки:

$$|f(x,x`)| \le M_1, \left|\frac{\partial f(x,x`)}{\partial x}\right| \le M_2, \left|\frac{\partial f(x,x`)}{\partial x`}\right| \le M_3, \left|\frac{dr(t)}{dt}\right| \le M_4, |r(t)| \le M_5, |g(x)| \le N_1,$$
$$\left|\frac{dg(x)}{dx}\right| \le N_2, |a(t)| \le A_1, \left|\frac{da(t)}{dt}\right| \le A_2.$$

Приближённое решение $x_N(t)$ уравнения (1) с условиями (2) будем строить на отрезке $[t_0, T]$, разбив его на n частей точками t_k, $k = 0,1,2,3,\dots,n-1$, где $t_0 \le t_1 \le \dots \le t_{N-1} = T$,

$$x_N(t) = \begin{cases} \frac{a_k}{2}(t-t_k)^2 + b_k(t - t_k) + c_k, t \in [t_k, t_{k+1}], \\ 0 \qquad\qquad\qquad\qquad , t \notin [t_k, t_{k+1}]. \end{cases}$$

Коэффициенты b_0 и c_0 находим из начальных условий: $c_0 = c$, $b_0 = b$; коэффициенты c_k и b_k находим из условия непрерывности $x_N(t)$ и $x`_N(t)$ в точках $t = t_k$.

Коэффициенты a_k находим из условия осциллируемости невязки

$$\psi_N(t, a_k) = x``_N + f(x_N, x`_N) + a(t)g(x_N) - r(t) = a_k + f\left(\frac{a_k}{2}(t-t_k)^2 + +b_k(t - t_k) + c_k, a_k(t-t_k) + b_k\right) + a(t)g\left(\frac{a_k}{2}(t-t_k)^2 + b_k(t-t_k) + c_k\right) - r(t),$$

т.е. из условия

$$\int_{t_k}^{t_{k+1}} \psi_N(t, a_k)dt = 0 \quad (k = 0,1,2,\dots,N-1). \qquad (3)$$

(Метод осциллирующих функций, см.[2]).

Если получим несколько значений a_k возьмем наименьшее по абсолютному значению [2].

Приближенное решение $x_N(t)$ удовлетворяет уравнению

$$x``_N + f(x_N, x`_N) + a(t)g(x_N) = r(t) + \psi_N(t, a_k) \qquad (4)$$

с начальными условиями $x_N(t_0) = c, x`_N(t_0) = b.$ (5)

Обозначив $u(t) = x(t) - x_N(t)$ и учитывая (1), (2), (4), (5) для погрешности получим уравнение $u`` + f(x,x`) - f(x_N, x`_N) + a(t)\big(g(x) - g(x_N)\big) = -\psi_N(t, a_k)$ с начальными условиями $u(t_0) = u`(t_0) = 0$.

Применяя теорему Лагранжа дифференциального исчисления для функции $f(x,x`)$ и g(x) получим $u`` + \overline{f`_{x`}}u` + (\overline{f`_x} + a(t)\overline{g`_x})u = -\psi_N$ (6)

с условиями $u(t_0) = u`(t_0) = 0.$(7)

Так как $\int_{t_k}^{t_{k+1}} \psi_N(t)dt = 0$, то существует такая точка $t_k < \eta_k < t_{k+1}$, в которой $\psi_N(\eta_k) = 0 \quad (k = 0,1,2,\dots,N-1)$,

$$|\psi_N(t)| = |\psi_N(t) - \psi(\eta_k)| \le \left|\psi`_N\left(t + \theta(t - \eta_k)\right)\right||t - \eta_k|,$$

$$t_k < t, \eta_k < t_{k+1}, 0 < \theta < 1, \max_{t_k \le t \le t_{k+1}} |\psi_N(t)| \le \max_{t_k \le t \le t_{k+1}} |\psi`_N(t)|h.$$

$\max_{t_k \le t \le t_{k+1}} |\psi`_N(t)|$ оценивается из уравнения (4) после построения приближённого решения.

Оценки погрешности будут а` posteriori.

Оценку погрешности можно получить «пошаговую», если вначале оценить $u_0(t)\ t \in [t_0, t_1]$, затем $u_1(t)\ t \in [t_1, t_2]$ и т.д. оценка погрешности для $t \in (t_k, t_{k+1})$ будет выражаться через оценку на промежутке $[t_{k-1}, t_k]$. Интегрируя уравнение (6) с условиями (7) дважды и применяя лемму Беллмана [3], получим $|u(t)| \le Nh^2$, где N зависит от коэффициентов уравнения и не зависит от шага h.

Построив приближенное решение и оценив разность $u(t) = x(t) - x_n(t)$ можем получить область расположения точного решения $x_n(t) - \varepsilon \le x(t) \le\le x_n(t) + \varepsilon$, где ε – погрешность.

Замечание об априорной оценке погрешности.

Если уравнение имеет вид $x`` + \sum_{i=0}^{n} p_i(t)x^{2i+1} = 0$ с начальными условиями $x(t_0) = a, x`(t_0) = b$, где $p_i(t)$ – непрерывно-дифференцируемые функции, $p_i(t) > 0, t \in [t_0, T], t_0 > 0$, то в этом случае решения $x(t), x`(t), x_N(t), x`_N(t)$ будут ограничены, см. [2], стр. 10 так,

$$|x(t)| \le \sqrt{\frac{ce^M}{\min_{t_0 \le t \le T} |p_1(t)|}}, |x`(t)| \le \sqrt{c(1 + Me^M)},$$

где $c = \sum_{i=1}^{n} i^{-11} p_i(t_0) a^{2i} + b^2$, $M = \sum_{i=1}^{n} \max_{t_0 \le t \le T} \ln \frac{p_i(t)}{p_1(t_0)}$

Для этого уравнения на каждом частичном промежутке будем иметь относительно a_k уравнения порядка $2n + 1$, причём коэффициент при a_k^{2n+1} будет h в степени $4n + 2$ и при условии ограниченности a_k можно будет члены с h в степени > 2 сбросить и получится уравнение 2-й степени относительно a_k (за a_k берём наименьший по абсолютному значению).

Все задачи методом осциллирующих функций хорошо решаются с использованием вычислительного пакета Mathematica.

Пример:

Рассмотрим уравнение

$$x`` + tx + x^3 = 0$$

с начальными условиями $x(0) = 1,\ x`(0) = 0 \quad t \in [0, 1], h = 0{,}01.$

Решено указанным алгоритмом, погрешность $|u(t)| \le 0{,}016.$

Библиографическийсписок

1. *Jack Wacki.* A singular nonlinear foundry value problem 1978// Pacific journal of mathematics. Vol.78,№2.
2. *Воронина Н.В., Маланин В.В., Рекка Р.А.* Осциллирующие функции и некоторые их приложения.// Свердловск: Из-во Уральского университета, 1990. 110с.
3. *Беллман Р.* Теория устойчивости решения дифференциальных уравнений. Москва: Из-воИн. Лит. 1954.

CONSTRUCTIONOFTHEAPPROXIMATE SOLUTIONOF A CLASS OFNONLINEAR EQUATIONSBY THE METHOD OFOSCILLATINGFUNCTIONS

Frolov Iurii I.

Perm national research polytechnic universityRussia, 614990, Perm, KomsomolskiAv., 9, Yrsyrsfrolov@gmail.com

The article gives an algorithm for constructing an approximate solution of a class of nonlinear ordinary differential equations of 2nd order with initial conditions, which is a model describing the reaction occurring in nuclear reactors. These problems have been considered in the book [1]. In this book, the problem of constructing an approximate solution is not compromised, considered statement of the problem and the conditions of existence of a unique solution to give initial conditions. In this article, an approximate solution is constructed in the form of a spline 2nd order in which a_k coefficients determined from the condition oscillating discrepancy and bonding at the points $t = t_k$ (that is, from the requirement of continuity of the approximate solution and it's derivative at the junction points $t = t_k$). The possibility of determining the coefficients of the splines on the condition imposed at $h = \max_k (t_{k+1} - t_k)$ (that is, at a certain period of breakdown, constructing an approximate solution $t_0 \le t_1 \le t_2 \le \cdots t_{n-1} = T$). It is shown that h can always choose. These estimates for the error, allow the area to find the location of the exact solution. Ratings are posteriori character. If the nonlinearity is included in the equation in the form of a series in powers of the original solution, you can obtain an apriority estimate of the error that is noted in the remark, and illustrated examples of solutions in Mathematica package. The algorithm is based on the method of oscillating functions [2].

Key words: nonlinear differential equations, oscillating functions method, model reactions occurring in nuclear reactors.

УДК 512.556

О ПОЛУКОЛЬЦАХ НЕПРЕРЫВНЫХ (0, ∞]-ЗНАЧНЫХ ФУНКЦИЙ[1]

Шалагинова Надежда Владимировна, Вечтомов Евгений Михайлович

Вятский государственный университет (Киров),

610000, г. Киров, ул. Московская, д.36, korshunnv@email.ru, vecht@mail.ru

Работа развивает теорию полуколец $C^{\infty}(X)$непрерывных функций на топологических пространствах X со значениями в полукольце $(0, \infty]$. Рассматриваются некоторые вопросы делимости функций в полукольцах $C^{\infty}(X)$. Показано, что полукольца $C^{\infty}(X)$ и $C^{+}(X)$имеют одинаковые мультипликативные свойства, в том числе содержат одинаковое множество обратимых функций.Установлено, что в полукольце $C^{\infty}(X)$любой многочлен от функции f натуральной степени nделится на свою старшую степень f^n и наоборот.Полукольца $C^{\infty}(X)$ обладают единственным максимальным идеалом $M(X)$, состоящим из всех необратимых функций. Все собственные идеалы полукольца $C^{\infty}(X)$ являются идеалами в$M(X)$. В работе доказано, что только в случае P'-пространства Xвсе идеалы из $M(X)$ будут идеалами полукольца.

Ключевые слова: полукольцо непрерывных функций, идеал, главный идеал, максимальный идеал, Р'-пространство.

В статье рассматриваются некоторые свойства полуколец $C^{\infty}(X)$.

Возьмем топологическое полуполе **P** всех положительных действительных чисел с обычными операциями сложения и умножения и интервальной топологией. Пополним его поглощающим элементом ∞. На множестве $(0, \infty]=\mathbf{P}\cup\{\infty\}$ зададим топологию, в которой **P** будет подпространством и множества $(r, \infty]$, $r\in\mathbf{P}$, образуют ее базу. В результате получим локально компактное коммутативное полукольцо $(0, \infty]$ с единицей 1, множеством **P** обратимых элементов и поглощающим элементом ∞.

Пусть X – произвольное тихоновское пространство. Через $C^{\infty}(X)=C(X, (0, \infty])$ обозначим множество всех непрерывных $(0, \infty]$-значных функций на X. Относительно поточечно определенных операций сложения и умножения функций $C^{\infty}(X)$ является коммутативным полукольцом с единицей 1 и полуполем $U(X)=C(X, \mathbf{P})$ обратимых элементов. Изучение свойств полукольца было начато в [1, 2].

Для каждой функции $f\in C^{\infty}(X)$определим *Н-множество* $H(f)=f^{-1}(\infty)$ и*конуль-множество*coz $f=X\setminus H(f)$.

---

[1] Публикация подготовлена при финансовой поддержке проектной части госзадания Минобрнауки РФ «Функциональная алгебра и полукольца», проект №1.1375.2014/К.
© Шалагинова Н.В., Вечтомов Е.М., 2016 г.

Произвольной функции f из $C^{\infty}(X)$сопоставим функцию f^{*} из $C^{+}(X)$, равную 0 на $H(f)$ и f^{-1}на coz f. Для функций $f\in C^{\infty}(X)$верны равенства $H(f)=Z(f^{*})$ и coz f=coz f^{*}.

Рассмотрим отображение *: $C^{\infty}(X)\to C^{+}(X)$, переводящее каждую функцию $f\in C^{\infty}(X)$в функцию $f^{*}\in C^{+}(X)$. Для любых $f, g\in C^{\infty}(X)$ выполняются соотношения:

$$(fg)^{*}=f^{*}g^{*} \text{ и } f\le g^{*}=g^{*}\le f^{*}.$$

Отсюда следует, что соответствие * осуществляет изоморфизм мультипликативной полугруппы полукольца $C^{\infty}(X)$на мультипликативную полугруппу полукольца $C^{+}(X)$. Поэтому полукольца $C^{\infty}(X)$ и $C^{+}(X)$ обладают одинаковыми мультипликативными свойствами, в том числе имеют одну и ту же теорию делимости, выраженную на языке операции умножения.

Кроме того, изоморфизм * является антиизоморфизмом решетки $\langle C^{\infty}(X), \le\rangle$ на решетку $\langle C^{+}(X), \le\rangle$, то есть служит изоморфизмом аддитивно идемпотентного полукольца $\langle C^{\infty}(X), \wedge, \cdot\rangle$ и аддитивно идемпотентного полукольца$\langle C^{\infty}(X), \vee, \cdot\rangle$ (см. [3]).

Лемма 1. *Если $f, s, t\in C^{\infty}(X)$ и $st\le 1$ на* coz f, *то существуют такие $u, v\in U(X)$, что $u=s$ на* coz f *и $v=t$ на*coz f.

Доказательство. Применим мультипликативный изоморфизм * к полукольцу $C^{\infty}(X)$. Можно считать, что $f, s, t\in C^{+}(X)$и $st\le 1$ на coz f. Возьмем вспомогательную функцию $h=1-(st\wedge 1)$ из $C^{+}(X)$, равную 0 на coz f. Имеем$Z(s)\cap Z(h)=\varnothing=Z(t)\cap Z(h)$. Поэтому функции $u=s+h\in U(X)$ и $v=t+h\in U(X)$ удовлетворяют требуемым условиям.

Пусть S–коммутативное полукольцо с 1 и $a,b\in S$. Говорят, что элемент a делит элемент b, в обозначениях $a|b$, если $b=ac$ для некоторого элемента $c\in S$. Бинарное отношение | на Sобладает свойствами рефлективности и транзитивности. Элементыa и b называются ассоциированными ($a\sim b$), если они делят друг друга в S.

Предложение 1. *Функции f и g полукольца $C^{+}(X)$или полукольца $C^{\infty}(X)$ассоциированы тогда и только тогда, когда $f=gu$ для некоторой функции $u\in U(X)$.*

Доказательство. Пусть $f, g\in C^{+}(X)$ и $f\sim g$. Имеем $f=gs$ и $g=ft$ для некоторых функций s, t$\in C^{\infty}(X)$. Тогда$H(f)=H(g)$, $f=f(st)$ и$st=1$ насоz f. По лемме 1 u=s на coz f для подходящей функции $u\in U(X)$. Поэтому $f=gs=gu$.

По сравнению с полукольцами $C^{+}(X)$делимость в полукольцах $C^{\infty}(X)$ имеет свою специфику.

Лемма 2. *Для любых функций $f\in C^{\infty}(X)$, $u,v\in U(X)$* имеем $(uf+v)\sim f$.

Доказательство. Покажем, что функция $uf+v$ делится на функцию f. Рассмотрим функциюh, равную uна $H(f)$ и $u+v/f$ на $\operatorname{coz} f$. Легко видеть, что функция h лежит в $U(X)$ и $fh=uf+v$. Тогда $1/h\in U(X)$ и $f=(uf+v)1/h$.

Из леммы 2 следует, что $(1+f)\sim f$ и $(f+f^2)\sim f^2$ для любой функции $f\in C^\infty(X)$. В общем случае, любой многочлен от функции f натуральной степени n ассоциирован с f^n.

Множество

$$M(X)=C^\infty(X)\setminus U(X)=\{f\in C^\infty(X): H(f)\neq\varnothing\}$$

всевозможных функций из $C^\infty(X)$ с непустым H-множеством образует наибольший собственный идеал в полукольце $C^\infty(X)$.

Все собственные идеалы полукольца $C^\infty(X)$ являются идеалами полукольца $M(X)$. Выясним, когда верно обратное. Для этого можно ограничиться главными идеалами (f) в $M(X)$. Для любой функции $f\in M(X)$ главный идеал (f) полукольца $M(X)$, определяемый как наименьший идеал $M(X)$,содержащий f, имеет вид:

$$(f)=f\cdot M(X)\cup\{f, 2f, 3f, \ldots, nf, \ldots\}=fM(X)\cup f\mathbf{N}.$$

Лемма 3. *При $f\in M(X)$ идеал (f) полукольца $M(X)$ будет идеалом в полукольце $C^\infty(X)$ тогда и только тогда, когда внутренность H-множества функции f не пуста.*

Доказательство. Берем $f\in M(X)$. Требуется показать, что

$$(f)=fC^\infty(X)\Leftrightarrow H^0(f)\neq\varnothing.$$

Необходимость. Пусть $(f)=fC^\infty(X)$. Имеем $0{,}5f\in fM(X)\cup f\mathbf{N}$. Если $0{,}5f\in fM(X)$, то и $f\in fM(X)$, то есть $f=fg$ для некоторой функции $g\in M(X)$. Тогда $g=1$ на $\operatorname{coz} f$, $\varnothing\neq H(g)\subseteq\{x\in X: g(x)\neq 1\}\subseteq H(f)$ и $H^0(f)\neq\varnothing$. Если же $0{,}5f\in f\mathbf{N}$, то есть $f=2nf$ для некоторого натурального числа n. Это возможно только в случае $\operatorname{coz} f=\varnothing$, то есть при $f=\infty$. Но тогда $H^0(f)=X$.

Достаточность. Пусть теперь $H^0(f)\neq\varnothing$, то есть найдется точка $p\in H^0(f)$. Если $f=\infty$, то $(f)=\{\infty\}=fC^\infty(X)$. Если же $f\neq\infty$, то в силу тихоновости пространства X существует функция $g\in C^\infty(X)$, равная 1 на замкнутом множестве $X\setminus H^0(f)$ и ∞ в точке p. Имеем $g\in M(X)$ и $g=1$ на $\operatorname{coz} f$, значит, $f=fg\in fM(X)$. Поэтому $fC^\infty(X)\subseteq fM(X)\subseteq(f)$. Поскольку всегда $(f)\subseteq fC^\infty(X)$, то $(f)=fC^\infty(X)$ – главный идеал полукольца $C^\infty(X)$.

Тихоновское пространство X называется *P'-пространством*, если каждое непустое нуль-множество $Z(f)$ на X имеет непустую внутренность [4]. Это эквивалентно условию:

$$\forall f\in C^\infty(X)\ (H(f)\neq\varnothing\Rightarrow H^0(f)\neq\varnothing).$$

Из леммы 3 вытекает следующая характеризация P'-пространств X в терминах полуколец $C^{\infty}(X)$.

Предложение 2. *Тихоновское пространство X является P'-пространством тогда и только тогда, когда все идеалы полукольца $M(X)$ будут идеалами полукольца $C^{\infty}(X)$.*

Библиографический список

1. *Вечтомов Е. М., Шалагинова Н. В.* Об идеалах в полукольцах непрерывных $(0, \infty]$-значных функций // Алгебра, теория чисел и дискретная геометрия: современные проблемы и приложения: материалы XIII Международной конференции. Тула: ТГПУ, 2015. С. 153-155.
2. *Шалагинова Н. В., Вечтомов Е. М.* Конгруэнции на полукольце $(0, \infty]^n$ // Фундаментальные и прикладные проблемы механики, математики, информатики: сб. докл. всеросс. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Пермь: ПГНИУ, 2015. С. 35-39.
3. *Вечтомов Е.М, Сидоров В.В., Чупраков Д.В.* Полукольца непрерывных функций. Киров:Изд-во ООО «Радуга-ПРЕСС», 2011. 312 с.
4. *Вечтомов Е.М.* О P'-пространствах// Материалы V науч. конф. молодых ученых мех.-мат. фак. и НИИ механики Горьковского гос. ун-та. Ч.II. 1980. С. 51-56. Деп. ВИНИТИ №1836-81. Деп.

ABOUT SEMIRINGS OF CONTINUOUS (0, ∞]-VALUED FUNCTIONS

Shalaginova Nadegda V., Vechtomov Evgenij M.

Vyatka State University, Moskovskaya Str. 36, 610000, Kirov, Russia, korshunnv@mail.ru

Abstract. The work is devoted to the theory of semirings of continuous functions on topological spaces X with values in the semiring (0, ∞]. Some questions of divisibility of functions in the semirings $C^{\infty}(X)$ are considered. It is shown that the semirings$C^{\infty}(X)$ and$C^{+}(X)$ are the same multiplicative properties, in particular, semirings contain the same set of reversible functions.It was found that in thesemiring $C^{\infty}(X)$ any polynomial of degree $n$is divided byf^n and conversely. Semirings $C^{\infty}(X)$ have a unique maximal ideal $M(X)$. It consists of all of irreversible functions.All proper ideals of semiring $C^{\infty}(X)$ are ideals of $M(X)$.It is proved, that all the ideals of $M(X)$ are the ideals of semirings $C^{\infty}(X)$ if and only if space X – P'-space.

Keywords: the semiringof of continuous functions, ideal, the principal ideal, the maximal ideal, P'-space.

МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ

УДК 539.3

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ, РЕАЛИЗОВАННОГО В ПАКЕТЕ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА ANSYS[1]

Брюхова Ксения Сергеевна, Максимов Петр Викторович

Пермскийнациональный исследовательский политехнический университет, 614000, Россия,г. Пермь, Комсомольский проспект 29,969fox696@mail.ru

Оптимальное проектирование является одним из наиболее значимых направлений при проектировании и создании новых, конкурентоспособных конструкций. Целью проектирования является форма детали, которая была бы легче исходной, но при этом сохранила прежнюю прочность. Топологическая оптимизация позволяет найти оптимальное распределение материала в заданной проектной области при определенных нагрузках и граничных условиях. Данная оптимизация базируется на использовании конечно-элементных расчетов, использующихся для определения критериев оптимизации и определения прочности конструкции с новой топологией. В работе представлено решение задачи топологической оптимизации опорной конструкции. Разработан алгоритм топологической оптимизации, использующий критерий, учитывающий распределение интенсивности напряжений в конструкции. Алгоритм написан на языке APDL ANSYS. С использованием, представленного в работе алгоритма, получена оптимизированная конструкция, в которой появляются участки, представляющее собой подобие балочно-стержневых конструкций.

Ключевые слова: топологическая оптимизация, метод конечных элементов, ANSYS, методы оптимизации.

Топологическая оптимизация – математический подход, решающий проблему оптимального распределения материала в ограниченном пространстве с учетом действующих нагрузок и граничных условий таким образом, чтобы решение удовлетворяло требуемым условиям. При этом анализ конструкции выполняется методом конечных элементов, в то время как сама оптимизация может выполняться одним из известных методов оптимизации.Некоторые подходы к построению алгоритмов топологической оптимизации, результаты их работы отражены в работах [1-5].

Постановка задачи топологической оптимизации

Один из подходовдля определениятопологии оптимальной конструкции состоит в минимизации функции податливости или потенциальной энергии деформации при ограничении на заданный объем конструкции. Математически формулировка задачи оптимизации конструкции выглядит следующим образом:

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор №02.G25.31.0168 от 01.12.2015 г. в рамках реализации постановления Правительства РФ № 218)
© Брюхова К.С., Максимов П.В., 2016 г.

необходимо определить геометрию изделия с наименьшей массой

$$\min M = \sum_{i=1}^{n} \rho_i l_i t_i \tag{1}$$

при заданных ограничениях на компоненты тензора напряжений

$$\sigma_{km} \le \sigma_k, k = \overline{1,n}, m = \overline{1,N_c}, t_i \ge t_{0i}, i = \overline{1,n} \tag{2}$$

где*t* – проектная переменная (толщина двухмерного элемента); ρ – плотностьматериала; *l* – площадь в плане *i*-го элемента;σ_{km}–интенсивность напряжений в *k*-ом элементе при действии нагрузок *m*-го расчетного случая; σ_k— допускаемое по условиям прочности и ресурса напряжение в *k*-ом элементе; N_c— количество расчетных случаев нагружения.

Для решения данной задачи предлагается следующий алгоритм:

1. Заданная проектная область подробно разбивается на конечные элементы. Для построенной конечно-элементной модели с заданными граничными условиями решается задача МДТТ и определяетсяинтенсивность напряженийвнутри конечных элементов для заданных случаев нагружения.

2. Недогруженными элементами будем считать элементы, у которых вычисленная интенсивность напряжений меньше, чем $(\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) * K + \sigma_{\min}$, где $\sigma_{\max}$ и $\sigma_{\min}$ интенсивности напряжений. *K* – критерий, определяющий количество элементов, удаляемых за одну итерацию.

3. Удаляются наиболее недогруженные элементы. Удаление в пакете ANSYS реализовано посредством технологии «умерщвления» конечных элементов.

4. Вычисляется отношение минимальной интенсивности напряжений к максимальной интенсивности напряжений в элементах конструкции. Если оно меньше заданной величины, то имеются недогруженные элементы, работа алгоритма возвращается к пункту 2. В противном случае процесс топологической оптимизации завершается.

Процесс топологической оптимизации конструкции носит итерационный характер, на каждом шаге которого при помощи метода конечных элементов определяется напряженно-деформированное состояние, реализуемое в конструкции с измененной конфигурацией при заданных силовых и кинематических граничных условиях.

Результаты работы алгоритма топологической оптимизации

Продемонстрируем работу алгоритма топологической оптимизации на примере кронштейна (рис. 1), имеющего в начальном состоянии форму прямоугольника.

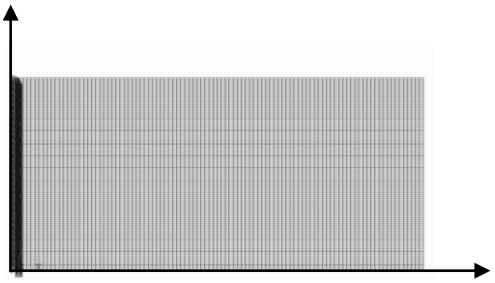


Рис.1 Начальная расчетная схема

Кронштейн жестко закреплен по левой стороне. На кронштейн сверху действует распределенная нагрузка. Требуется найти такую форму кронштейна, при которой последний будет иметь наименьшую массу, но при этом напряжения в нем не превысят заранее заданной величины.

На рис. 2 показана последовательно изменяющаяся в результате оптимизации форма кронштейна (при K=0,07):

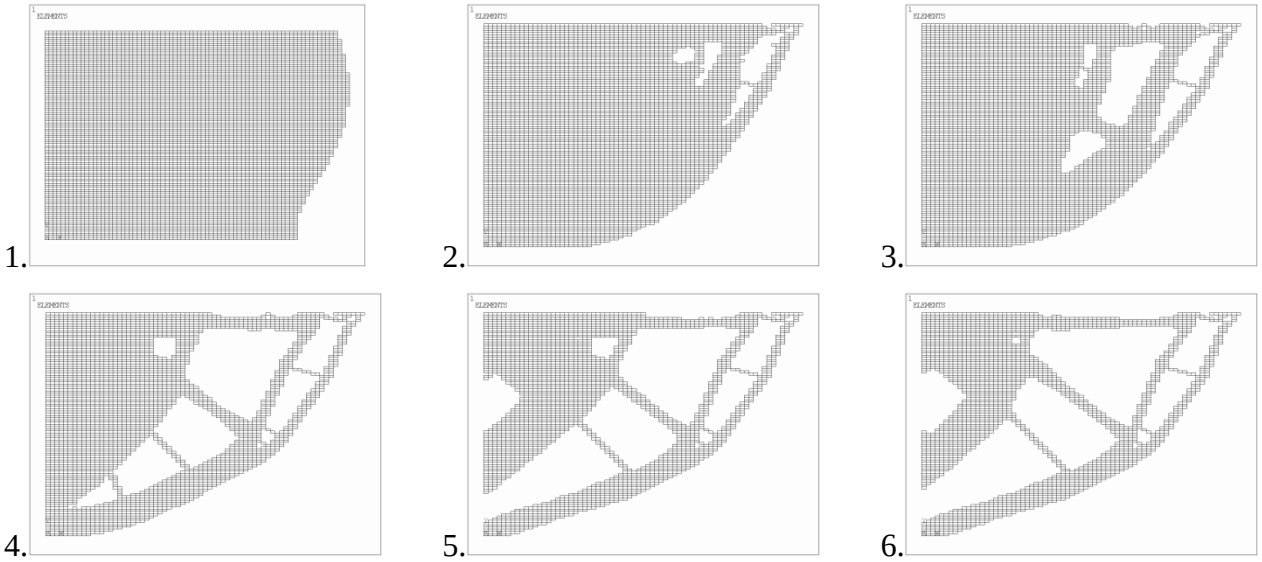


Рис.2 Формы кронштейна на различных шагах оптимизации

Наблюдается образование условно балочно-стержневой конструкции, представляющей собой взаимно перпендикулярные стержни. При этом, в ходе оптимизации количество этих стержней уменьшается. Так стержни, направленные из нижнего левого угла в верхний правый угол, сохраняют свое количество, при этом уменьшая толщину. Перпендикулярные же им стержни постепенно разгружаются, что приводит к их «умерщвлению». В частности, основную нагрузку воспринимает один стержень, расположенный посередине.

Заключение

При использовании представленного в работеалгоритма получена оптимизированная конструкция, в которой появляются участки, представляющие собой подобие тонких

балочно-стержневых элементов. В текущей постановке вопросы потери устойчивости таких элементов не рассматривались.

В дальнейшем планируется учет в алгоритме более сложных критериев оптимизации, а также модификация уже предложенных алгоритмов оптимизации. Предлагается введение неизменяемых областей, к которым, в первую очередь, должны быть отнесены границы приложения нагрузок, области закреплений.

Библиографическийсписок

1. *Bendsoe, Martin P.*Topology Optimization: Theory, methods and applications. Springer, 1995, 370 с.
2. *Сысоева В.В., Чедрик В.В.*Алгоритмы оптимизации топологии силовых конструкций // Ученые записки ЦАГИ. –Том XLII.–2011. –с.91-102.
3. *Джилавян С.А., Хуршудян Ас.Ж.* Оптимизация топологии упругого основания прямоугольной пластинки, подверженной воздействию подвижной нагрузки // XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ–2014. —2014. –с.1745-1756.
4. *Яров В.А., Прасоленко Е.В.* Строительные конструкции здания и сооружения // Вестник ТГАСУ. –№ 3. –2011. –с.89-102.
5. *Rozvany G.I.N., Zhou N., Sigmund O.* Topology Optimization in Structural Design // In: Advances in Design Optimization / Adeli. –1994. –p.240–299.

DEVELOPMENT OF ALGORITHM OF TOPOLOGY OPTIMIZATION, IMPLEMENTED IN THE PACKAGE OF ENGINEERING ANALYSIS ANSYS

Bryukhova Kseniya S., Maksimov Petr V.

State National Research Politechnical University of Perm, Komsomolsky Av. 29, Perm,Russia, 614000, 969fox696@mail.ru

Topology optimization is one of the most important trends in the design and creation of new, competitive structures. The aim of the design is the shape of the part, which would be lighter, but it has kept the previous strength. Topology optimization is used to find the optimal distribution of the material into a given project area under certain loads and boundary conditions. This optimization is used with finite element calculations for determination the optimization criteria and the strength of the design with the new topology. At this paper the solution of topology optimization of the support structure are presented. The algorithm of topological optimization with calculation of the stress intensity distribution in the structure are used. The algorithm is written by using APDL ANSYS. It is shown that there are areas, which is a likeness of girder-beam structures.

Key words: topological optimization,finite elements method, ANSYS, optimization methods.

УДК 62-50

МИНИМИЗАЦИЯ ЛИНЕЙНОЙ КОМБИНАЦИИ ВРЕМЕНИ И РАСХОДА ТОПЛИВА В ЗАДАЧЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОДНОЙ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМОЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Макеева Александра Витальевна, Стрелкова Нина Александровна

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

Исследуется задача оптимального управления объектом, движение которого в сопротивляющейся среде описывается линейной системой второго порядка. Управление, осуществляющее перемещение объекта из начального положения в заданное конечное положение, полагается ограниченным по модулю.В качестве минимизируемого функционала используется комбинированный функционал качества, который характеризует в заданной пропорции расход времени и топлива. Для решения задачи применяется принцип максимума Л.С. Понтрягина. В аналитическом виде найдены оптимальное управление, время окончания процесса, фазовые координаты, минимальное значение функционала.Проведен анализ полученного решения. Приводятся числовые примеры, иллюстрирующие разработанную теорию.

Ключевые слова: оптимальное управление, принцип максимума Понтрягина

1. Постановка задачи оптимального управления

Рассматривается задача оптимального управления движением объекта, подверженного действию сил сопротивления. Предполагается, что сила сопротивления пропорциональна скорости движения тела. Обозначим через $x(t)$ – координату, определяющую положение объекта, а через $u(t)$ – управляющую силу, ограниченную по модулю. Движение объекта описывается дифференциальным уравнением второго порядка вида

$$\ddot{x} + k\dot{x} = u, \tag{1}$$

где k – положительная постоянная. Без ограничения общности считаем, что дано тело единичной массы, а управление $u(t)$ удовлетворяет ограничению

$$|u| \le 1. \tag{2}$$

Требуется найти оптимальное управление $u(t)$, обеспечивающее перевод фазовой точки из начального состояния

$$x(0) = x_0 > 0,\ \dot{x}(0) = 0 \tag{3}$$

в конечное положение

© Макеева А.В., Стрелкова Н.А., 2016 г.

$$x(T) = \dot{x}(T) = 0 \tag{4}$$

и минимизирующее функционал вида

$$J = \int_0^T \left(1 + a|u|\right)dt \to \min, \tag{5}$$

где $a > 0$ и время перехода T не задано.

В данной постановке, при других критериях качества, задача рассматривалась в работах [1-3]. Отметим, что к соотношениям (1)–(4) сводятся также задачи оптимального управления переориентацией сферически симметрично твердого тела в сопротивляющейся среде [4].

2. Построение оптимального решения

Для решения задачи (1)–(5) воспользуемся принципом максимума Понтрягина [5]. Сделаем замену $x = x_1,\ \dot{x} = x_2$ и преобразуем уравнение (1) к виду

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = -kx_2 + u. \end{cases} \tag{6}$$

Составим функцию Гамильтона-Понтрягина:

$$H = \psi_1 x_2 - \psi_2 k x_2 + \psi_2 u - 1 - a|u|. \tag{7}$$

Выпишем сопряженную систему дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \dot{\psi}_1 = 0, \\ \dot{\psi}_2 = -\psi_1 + k\psi_2 \end{cases} \tag{8}$$

и найдем ее решение

$$\begin{cases} \psi_1 = d_1, \\ \psi_2 = d_2 e^{kt} + d_1 \dfrac{1}{k}, \end{cases} \tag{9}$$

где d_1, d_2 – произвольные постоянные. Функция Hдостигает максимального значения при управлении

$$u = \begin{cases} \operatorname{sign}\psi_2(t), \text{ если } |\psi_2(t)| > a, \\ 0, \text{ если } |\psi_2(t)| < a, \\ [-1,0], \text{ если } \psi_2(t) = -a, \\ [0,1], \text{ если } \psi_2(t) = a. \end{cases} \tag{10}$$

Так как время T окончания процесса не задано, то максимальное значение функции Гамильтона-Понтрягина Hдолжно удовлетворять условию[1]:

$$H(t) = H(T) = 0. \tag{11}$$

Если $|\psi_2| = a$, то из соотношений (9), (10) следует $H = -1$, что противоречит условию (11). Таким образом, учитывая, что функция $\psi_2(t) = d_2 e^{kt} + d_1 \frac{1}{k}$ не более одного раза меняет знак на отрезке $[0, T]$, получаем, что в качестве возможных оптимальных управлений можно рассматривать девять управляющих последовательностей $\{0\}$, $\{-1\}$, $\{+1\}$, $\{0,-1\}$, $\{0,+1\}$, $\{-1,0\}$, $\{+1,0\}$ $\{-1,0,+1\}$, $\{+1,0,-1\}$. Заданным граничным условиям (3), (4) удовлетворяет лишь последовательность $\{-1,0,+1\}$.

Оптимальное управление имеет вид:

$$u = \begin{cases} -1, & 0 \le t \le \tau_1, \\ 0, & \tau_1 \le t \le \tau_2, \\ 1, & \tau_2 \le t \le T. \end{cases} \tag{12}$$

Подставим (12) в систему (6) и, учитывая граничные условия (3), (4), найдем фазовые координаты x_1, x_2 и моменты переключения оптимального управления τ_1, τ_2:

$$x_1 = \begin{cases} -\frac{t}{k} - \frac{1}{k^2} e^{-kt} + x_0 + \frac{1}{k^2}, & 0 \le t \le \tau_1, \\ -\frac{\tau_1}{k} + x_0 - \frac{1 - e^{k\tau_1}}{k^2} e^{-kt}, & \tau_1 \le t \le \tau_2, \\ \frac{t}{k} + \frac{1}{k^2} e^{kT - kt} - \frac{T}{k} - \frac{1}{k^2}, & \tau_2 \le t \le T, \end{cases} \quad x_2 = \begin{cases} \frac{1}{k} e^{-kt} - \frac{1}{k}, & 0 \le t \le \tau_1, \\ \frac{1 - e^{k\tau_1}}{k} e^{-kt}, & \tau_1 \le t \le \tau_2, \\ -\frac{1}{k} e^{kT - kt} + \frac{1}{k}, & \tau_2 \le t \le T, \end{cases} \tag{13}$$

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \frac{1}{k} \ln \frac{1}{2} \left(e^{kT} + 1 - \sqrt{(e^{kT} + 1)^2 - 4e^{kT + k^2 x_0}} \right), \\ \tau_2 &= \frac{1}{k} \ln \frac{1}{2} \left(e^{kT} + 1 + \sqrt{(e^{kT} + 1)^2 - 4e^{kT + k^2 x_0}} \right). \end{aligned} \tag{14}$$

Для определения времени окончания процесса T воспользуемся условием (11), вычислим Hпри $t = T, 0, \tau_1$. Исключая постоянные d_1, d_2 , приходим к квадратному уравнению

$$(1 - A) y^2 + 2\left(1 + A - 2e^{k^2 x_0}\right) y + 1 - A = 0, \tag{15}$$

где введены обозначения $e^{kT} = y$, $\left(\frac{a}{1+a}\right)^2 = A$. Отбрасывая отрицательный корень, получаем

$$T = \frac{2}{k} \ln \left(\frac{\sqrt{1 - A e^{-k^2 x_0}} + \sqrt{1 - e^{-k^2 x_0}}}{\sqrt{1 - A}} \right) + k x_0 . \tag{16}$$

Отметим, что при $a=0$ время перехода T совпадает с временем $T_{\min}=\frac{2}{k}\ln\left[1+\sqrt{1-e^{-k^2x_0}}\right]+kx_0$ в задаче об оптимальном по быстродействию управлении объектом[4], движение которого описывается соотношениями (1)–(4); в этом случае $\tau_1=\tau_2=\frac{1}{2}(T+kx_0)$.

Учитывая соотношения (5), (14) найдем минимальное значение функционала

$$J_{\min}=\frac{a}{k}\ln\left(\frac{e^{kT}+1-\sqrt{(e^{kT}+1)^2-4e^{kT+k^2x_0}}}{e^{kT}+1+\sqrt{(e^{kT}+1)^2-4e^{kT+k^2x_0}}}\right)+(1+a)T. \qquad (17)$$

Библиографический список

1. *Атанс М., Фалб П.* Оптимальное управление. М.: Машиностроение, 1968.
2. *Лейтман Дж.* Введение в теорию оптимального управления. М.: Наука, 1968.
3. *Стрелкова Н.А.* Об управлении одной системой второго порядка в сопротивляющейся среде // Вестн. Перм. ун-та. Математика. Механика. Информатика. Пермь, 2015. Вып. 3(30). С. 46-51.
4. *Стрелкова Н.А.* Оптимальная переориентация сферически симметричного твердого тела в сопротивляющейся среде // Шестые Поляховские чтения: Избранные труды Международной научной конференции по механике, Санкт-Петербург, 31 января – 3 февраля 2012 г. М.: Издатель И.В. Балабанов, 2012. С. 75-79.
5. *Понтрягин Л.С., БолтянскийВ.Г., Гамкрелидзе Р.В., МищенкоЕ.Ф.* Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1976.

MINIMIZING OF TIME AND FUEL CONSUMPTION LINEAR COMBINATION IN A LINEAR SECOND-ORDER SYSTEM OPTIMAL CONTROL PROBLEM

Makeeva Aleksandra V., Strelkova Nina A.

PermStateUniversity, st. Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990, solitary_@mail.ru

The problem of optimal control for an object whose motion in resistant environment is described by linear second-order system is investigated. The control realizing object movement from start position to given end position is assumed modulo limited. Combined quality functional which defines given proportion of time and fuel consumption is used as minimizing functional. Pontrjagin maximal principle is applied to solve the problem. Optimal control, end process time, phase coordinates, minimal functional value are determined in analytic form. Found solution is analyzed. The numerical examples illustrating developed theory are provided.

Key words:optimal control, Pontryagin’s maximum principle

УДК 519.6

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДЕФЕКТА «S-ОБРАЗНОСТЬ ТЕПЛОВОГО ДРЕЙФА» ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ГИРОСКОПА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИСПЫТАНИЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Павлов Илья Витальевич

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, i.pavlov-psu@ya.ru

В работе предложен алгоритм идентификации дефекта волоконно-оптического гироскопа (ВОГ) типа «S-образность теплового дрейфа». В основе алгоритма лежит статистический анализ временных рядов и элементы теории приближений. В качестве исходных данных использовались результаты испытаний ВОГ в составе бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС). Предлагаемый алгоритм идентификации дефекта заключается в использовании метода диффузионного сглаживания, поиска перегибаграфика теплового дрейфа и численное интегрирование. Работоспособность и эффективность предложенного алгоритма подтверждают результаты испытаний ВОГ на различных температурах. Разработана программа, реализующая автоматическую идентификацию дефекта.

Ключевые слова: дефекты ВОГ, автоматизация, статистика, идентификация, сглаживающий фильтр.

На предприятиях по производству БИНС на ВОГ достаточно часто сталкиваются с дефектами выпускаемых изделий,в связи с высокой сложностью их производства. На сегодняшний день результаты термоиспытаний изделия поступают к инженеру, отвечающего за качество продукции, в виде графиков. После визуального анализа графиков инженер делает заключение о годности изделия и классифицирует дефекты БИНС для установления в дальнейшем причин, вызвавших данную неисправность. Так как качество каждого изделия подвергается проверке, то анализ дефектов просмотром графиков с результатами термоиспытаний занимает много времении является весьма трудоёмким процессом. При этом дефекты, визуально отнесенные к одной группе, являются уникальными по форме и времени проявления, вследствие чего плохо поддаются математическому описанию. Таким образом, автоматизация идентификации и классификации дефектов ВОГ является актуальной задачей на сегодняшний день.

Одной из основных причин дефектов изделия является то, что показатель преломления оптического волокнав каждом секторе волоконного контурав условиях быстро

© Павлов И.В., 2016 г.

изменяющейся температуры будет различным (Шьюп, 1980, [1,2]). Такого рода эффект порождает ошибку в измеряемой угловой скорости[3,4].

Контролируемый температурный дрейф показан на рис.1. Такой дрейф хорошо коррелирует с изменение температуры. Критерием качества изделия является требование, чтобы после термокомпенсации остаточный дрейф лежал в допустимом коридоре ±Δ град/час.

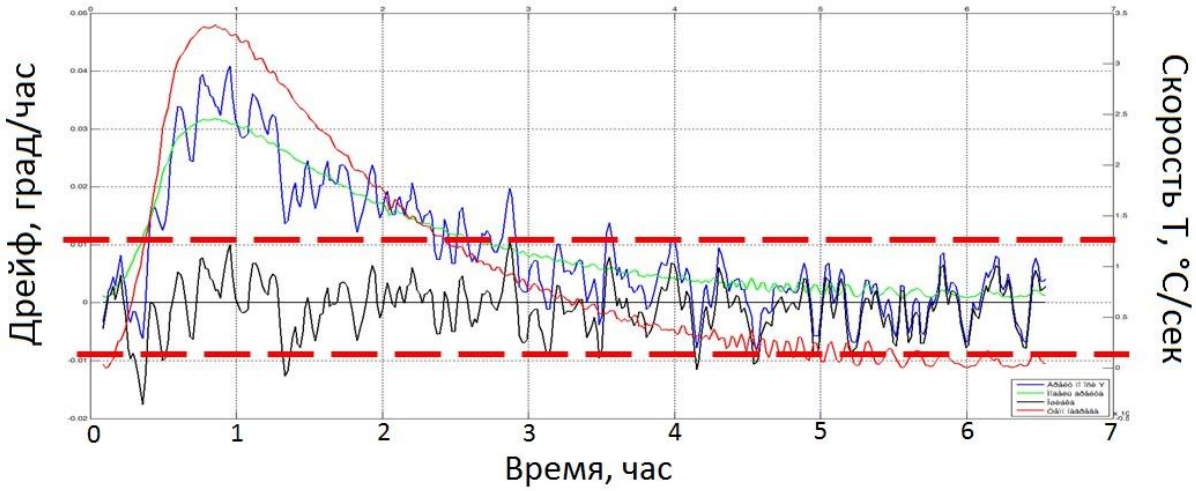


Рис.1. Контролируемый температурный дрейф: синяя линия – дрейф гироскопа, красная – скорость изменения температуры, зелёная – модель дрейфа, чёрная – компенсированный остаточный дрейф.

В ходе работы с ВОГ был выявлен дефект, который получил название «S-образность теплового дрейфа» (рис.2). Такой дрейф не коррелирует со скоростью изменения температуры, имеет точку перегиба и смену знака.

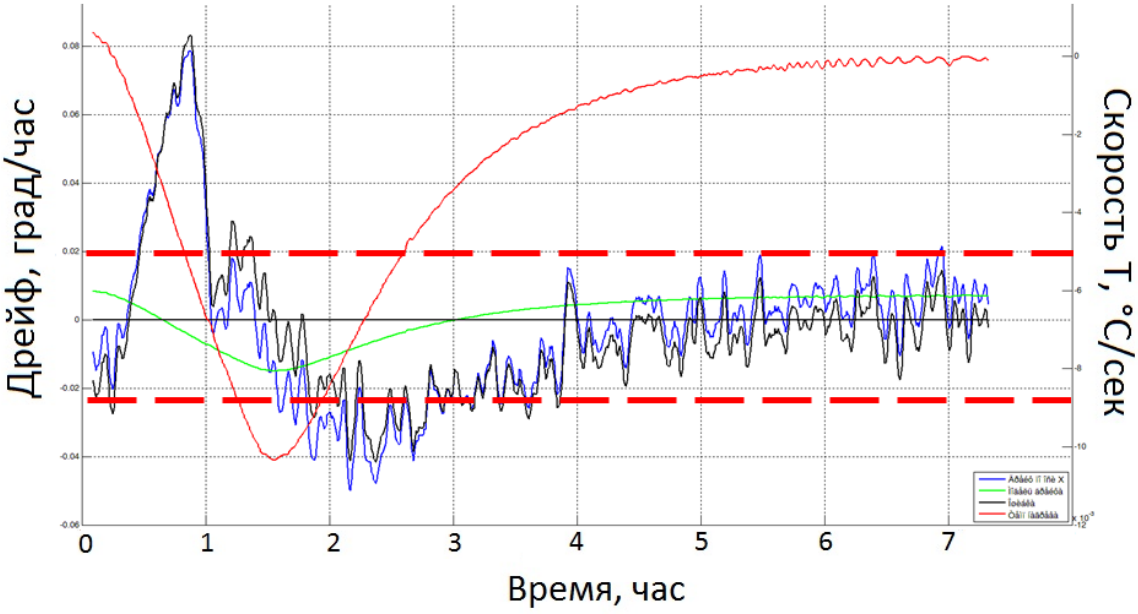


Рис.2.Дефект «S-образность теплового дрейфа» волоконно-оптического гироскопа.

Для выявления дефекта «S-образности» проводится предварительное диффузионное сглаживание исходных данных, критерием остановки которого является заданное число смены знаков численного аналога второй производной. Анализ смена знака самой сглаженной кривой и ее второй производной, а также численное интегрирование позволяют сделать заключение о наличии или отсутствия дефекта «S-образности».

Приведенный алгоритм идентификации реализован в виде программного продукта, который может использоваться инженерами по контролю качества для сокращения времени технологических операций по контролю технических характеристик продукции.

Библиографическийсписок

1. *Shupe D. M.* Thermally induced nonreciprocity in the fiber optic interferometer // Applied Optics. – 9. – 1980. – p. 654–655.
2. *Джашитов В. Э.*, Панкратов В.М. Датчики, приборы и системыавиакосмического и морского приборостроения в условиях тепловыхвоздействий // ISBN 5-900780-57-0 Россия — Санкт-Петербург:ЦНИИ "Электроприбор", 2005.
3. *Мешковский И.К.,* Мирошниченко Г.П., Рупасов А.В., Стригалёв В.Е., Шарков И.А. Исследование влияния тепловых воздействий на работу волоконно-оптического датчика угловой скорости // XXI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. – 26-28 мая 2014, Санкт-Петербург, Россия. – Санкт-Петербург: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». – 2014. – с.191-202.
4. *Вахрамеев Е.И.,* Галягин К.С., Киселев Е.В., Ошивалов М.А., Ульрих Т.А. Тепловой дрейф волоконно-оптического гироскопа. «Приборостроение» №1/2011. С. 32-37.

AUTOMATICIDENTIFICATIONOF DEFECT «S-SHAPEDTHERMAL DRIFT» OFFIBER OPTIC GYROSCOPESBASED ON TESTING RESULTSNAVIGATION SYSTEM

Pavlov Ilya V.

Perm State University, st. Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990, i.pavlov-psu@ya.ru

In the present paper there are numerical algorithm on identification and classification of defecttype «S-imagery thermal drift» of a fiber-optical gyroscope (FOG) that are based on the statistical analysis of time numbers and theory of approximation. As the initial data results of tests FOG consisted of strapdown part of the inertial navigation system (SINS) which have revealed six principal types the defects were used. As a result of represented work it was possible to develop software product realizing automatic identification of five of them. Result of the program work on which input the file with experimental data moves the entire account is what kind of defect is

observed, on what axis SINS and in what time interval. Thus, test calculations have shown good correlation with results received by means of the visual analysis.

Key words:defects fiber-optical gyroscope, automation, statistics, identification.

УДК 593.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПОРТЕВЕНА - ЛЕ ШАТЕЛЬЕ

Попов Федор Сергеевич

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

В работе анализируются известные физические механизмы возникновения прерывистой пластичности при деформировании образцов из металлических сплавов в определенных температурных и скоростных диапазонах при неупругом деформировании. В качестве одного из наиболее важных механизмов возникновения прерывистой пластичности (эффекта Портевена–Ле Шателье) в работе принято динамическое деформационное старение, обусловленное взаимодействием дислокаций с примесными атомами. В связи с этим подробно рассмотрены различные взаимодействия линейных и точечных дефектов.На основе анализа экспериментальных и теоретических работ, посвященных изучению данного эффекта, сделан вывод об эффективности использования для его исследования многоуровневых математических моделей. В рамках построения математической трехуровневой модели сформулированы концептуальная и математическая постановки задачи на различных масштабных уровнях.

Ключевые слова: эффект Портевена–Ле Шателье, дислокации,дислокационные структуры, неупругое деформирование

В настоящее время обработка изделий из металлов и сплавов в большинстве случаев связана с деформированием исходного образца в определенных температурно-скоростных диапазонах деформирования, в процессе чего возникает ряд негативных эффектов, например, прерывистая текучесть, часто приводящая к несовершенству поверхности изделий. Прерывистая текучесть (ПТ), называемая также скачкообразной деформацией, – явление неустойчивости пластического деформирования, которое обнаруживается практически для всех сплавов в определенных температурно-скоростных диапазонах деформирования. Прерывистая текучесть проявляется на деформационных кривых в виде повторяющихся неоднородностей – ступенек или зубцов различного типа и имеет ряд общих закономерностей для различных материалов и температур. В большинстве работ по данной тематике ПТ связывают с макро- и мезолокализацией деформации, которая для моно- и поликристаллических металлов, и сплавов проявляется в виде полос сдвига [1].

© Попов Ф.С., 2016 г.

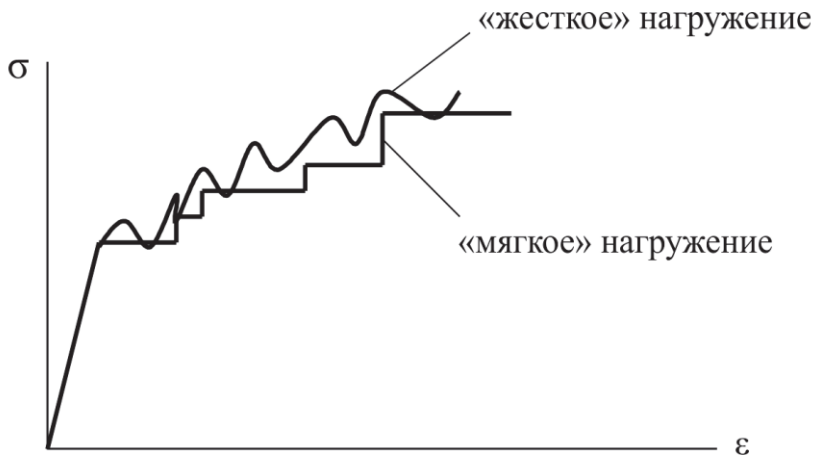


Рис.1. Диаграммы одноосного «жесткого» и «мягкого» нагружений

На рис.1 представлена диаграмма напряжение – деформация при одноосном нагружении, отражающая эффект Портевена – Ле Шателье (ПЛШ). Эффект ПЛШ с точки зрения таких одноосных макроэкспериментов проявляется в следующем: при низких скоростях деформирования и повышенной температуре диаграмма нагружения приобретает пилообразную форму («зубчики») при «жестком» нагружении, при «мягком» нагружении диаграмма становится ступенчатой (рис.1) [2, 3].

Целью работы является разработка математической модели неупругого деформирования, описывающей поведение моно- и поликристаллов на микро- и мезоуровнях, и исследования с ее помощью эффекта Портевена – Ле Шателье(на примере материалов с ГЦК–решеткой). В предлагаемой работе анализируется возникновение прерывистой пластичности при повышенных температурах и невысоких скоростях деформации, при этом рассматривается силовое нагружение.

Основным механизмом рассматриваемого эффекта в рамках данной работы полагается динамическое деформационное старение. Процесс деформирования обусловлен движением и взаимодействием внутренних дефектов материала, таких как дислокации, барьеры, вакансии, примесные атомы и др. Пластическое деформирование полагается реализующимся скольжением дислокаций по активным системам скольжения; при остановках дислокаций на препятствиях к ним диффундируют примесные атомы, своими полями напряжений взаимодействующие с полями напряжений дислокаций, что в свою очередь препятствует дальнейшему скольжению до тех пор, пока не будет достигнута некоторое пороговое напряжение [4].

При моделировании используется подход, основанный на представлении материала как многоуровневой системы. Концептуальная постановка задачи включает в себя следующие гипотезы:

- Для описания деформирования кристаллита используется модель мезоуровня. Мезоуровень – это один из трёх иерархических уровней в материале, который называют уровнем кристаллита (монокристалла). Низший уровень (микроуровень) считается уровнем дислокационных структур, а высшим уровнем (макроуровнем) является представительный макрообъем материала.
- Объектом исследования является идеальный, не содержащий в себе субзерен, границ и фрагментов, монокристалл (представительный объем мезоуровня).
- К внутренним переменным мезоуровня относятся сдвиги, скорости сдвигов по системам скольжения (СС) и критические напряжения.
- Принимается гипотеза об аддитивности упругой и пластической составляющих тензора скорости деформации.
- Объектами исследования на микроуровне являются дислокации и образующиеся дислокационные структуры, а также их взаимодействия с точечными дефектами (вакансиями, примесными атомами, барьерами) и друг с другом.
- Критические напряжения сдвигов на мезоуровне определяются дислокационной субструктурой с учетом взаимодействий с примесными атомами.
- Внутренними переменными микроуровня являются: плотность дислокаций, плотность барьеров.

Математическая постановка на макро- и мезоуровнях включает закон Гука в скоростной форме, эволюционные уравнения для внутренних переменных; для связи уровней принимается гипотеза Фойгта. На микроуровне рассматриваются эволюционные уравнения для плотностей дислокаций на системах скольжения и диффузия примесных атомов.

В работе представленыконцептуальная и математическая постановки задачи и описание модели неупругого деформирования кристаллических материалов, необходимой для анализа эффекта ПЛШна примере ГЦК-структуры. В постановке учитываетсявзаимодействие дислокаций различных систем скольжения, образование барьеров, взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.

Библиографический список

1. *Трусов П.В., Чечулина Е.А.* Прерывистая текучесть: физические механизмы, экспериментальные данные, макрофеноменологические модели // Вестник ПНИПУ Механика. –2014. – №3. – С.186–232.

2. *Белл Дж.Ф.* Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. Ч.1. Малые деформации. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1984. – 600 с.
3. *Белл Дж.Ф.* Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. Ч.2. Конечные деформации. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1984. – 432 с.
4. *Bross S., Hahner P., Steck E.A.* Mesoscopic simulations of dislocation motion in dynamic strain ageing alloys // Computational Materials Science – 2003. – №26. – С.46-55.

MATHEMATICAL MODELING THE EFFECT OF PORTEVIN - LE CHATELIER

Popov Fedor S.

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

The paper analyzes the known physical mechanisms of intermittent plasticity at deformation of samples of metal alloys in certain temperature and velocity ranges in an inelastic deformation.Dynamic strain aging is accepted as one of the most important mechanisms of occurrence of intermittent plasticity (effect of Portevin–Le Chatelier), due to the interaction of dislocations with impurity atoms. Therefore considered in detail interaction linear defects in the material with point defects, and with each other. Concluded that the effectiveness of the use for the study of the effect of multi-level mathematical models, based on the analysis of experimental and theoretical studies, devoted to the study of this effect. As part of the construction of a mathematical a three-level model, conceptual and mathematical formulation of the problem at different levels of scale are formulated.

Key words: effect of Portevin-Le Chatelier, dislocation, dislocation structure, the inelastic deformation.

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАМОТКИ КОМПОЗИТНОЙ СИЛОВОЙ ОБОЛОЧКИ

Рубцова Дарья Михайловна, Сметанников Олег Юрьевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: danikdram@gmail.com

Представлена модель процесса кольцевой намотки волокнистого композита на оправку. Проведена верификация решения упругой одномерной задачи в конечно-элементном пакете AnsysMechanicalAPDL. Определена схема численного расчета для нахождения напряженно-деформированного состояния системы оправка-композит.Для решения задачи используется методика удаления и восстановления элементов (Element Birth & Death). Начальное натяжение волокна задано с использованием технологии Inistate пакета Ansys. Достоверность результатов численных расчетов проверена путем сравнения с полуаналитическим решением задачи Ламе для многослойной изотропной модели с начальным натяжением всреде Matlab. Получено обобщение решения на случай трансверсально-изотропного материала. Рассмотренодва метода поиска закона начального натяжения слоев при заданном остаточном натяжении намотки, в основе которых лежит решение задачи Ламе.

Ключевые слова: численное моделирование, оправка, намотка, задача Ламе, оптимизация

В процессе развития авиационной и других высокотехнических отраслей разрабатываются и внедряются новые конструкционные материалы, важное место среди них занимают композиционные материалы. Применение таких материалов позволяет уменьшить вес конструкций и существенно повысить их прочность. Одной из наиболее сложных и распространенных конструкций из композитных материалов являются силовые оболочки топливного бака ракетных двигателей, так как для их изготовления используется метод непрерывной намотки. Технологический процесс изготовления баллона высокого давления включает в себя несколько этапов: изготовление формообразующей конструкции или оправки; нанесение разделительных слоев и теплозащитного покрытия; намотка оболочки; термическая обработка и извлечение оправки. При нанесении на оправку ленты из нитей, которая пропитана связующим, определяется ее положение и направление укладки, а также начальное натяжение слоя волокна. Оправка при этом должна выдерживать приложенную нагрузку и сохранять форму и размеры конструкции.

В связи с длительностью процесса изготовления, для нахождения напряженно-деформированного состояния слоев конструкции и начальных параметров намотки, необходимо использование численного моделирования.

© Рубцова Д.М., Сметанников О.Ю., 2016 г.

Рассмотрена одномерная осесимметричная задача послойной кольцевой намотки на упругую оправку. На систему, состоящую из двух цилиндров (рис.1) оправки с постоянной толщиной $r_н - r_в$ и намотанной оболочки с переменной толщиной $n*t$, где n – число прежде намотанных слоев, наматывается $n+1$ слой (решение Ламе [1]). Он создает внешнее осесимметричное давление на композицию цилиндров $p = -\sigma^3_{\varphi\varphi}\, t/r_н^{'}$,где $r_н^{'} = r_н + n*t$ и $r_в^{'} = r_н$ – внешний и внутренние радиусы композиции, при этом известно начальное напряжение слоя $\sigma^3_{\varphi\varphi} = const$.Получены компоненты напряжений для оправки (1), намотанных ранее слоев(2) и для последнего $n+1$ слоя (3), материал считается изотропным. Здесь p_k – контактное давление между цилиндрами от действия давления p, которое определяется из граничных условий.Общая толщинанамотанной оболочки $Ttotal$, $t = Ttotal / n$ – толщина одного слоя намотки. Индекс r соответствует радиальной компоненте, а φ – окружной;

$$\sigma_{rr}^{(1)} = -\frac{p_к r_н^2}{r_н^2 - r_в^2}\left(1 - \frac{r_в^2}{r^2}\right),\ \sigma_{\varphi\varphi}^{(1)} = -\frac{p_к r_н^2}{r_н^2 - r_в^2}\left(1 + \frac{r_в^2}{r^2}\right) \quad (1)$$

$$\sigma_{rr}^{(2)} = -p - \frac{(-p_к + p) r_в^{'2}}{r_н^{'2} - r_в^{'2}}\left(1 - \frac{r_н^{'2}}{r^2}\right),\ \sigma_{\varphi\varphi}^{(2)} = -p - \frac{(-p_к + p) r_в^{'2}}{r_н^{'2} - r_в^{'2}}\left(1 + \frac{r_н^{'2}}{r^2}\right) \quad (2)$$

$$\sigma_{rr}^{(3)} = -\sigma_{\varphi\varphi}^{(3)} \frac{t}{r_н^{'}}\left(1 - \frac{(r - r_н^{'})}{t}\right),\ \sigma_{\varphi\varphi}^{(3)} = const \quad (3)$$

Окончательный результат является суперпозицией решений (1)-(3) для полного пакета намотанных слоев. На рис. 1 изображена схема конечно-элементной модели. Разработан алгоритм расчета (рис.2) с помощью команд в AnsysAPDLдля нахождения НДС слоев намотки, форма которыхпредставляет собой оболочку вращения. В ходе решения используется методика удаления и восстановления элементов каждого из слоев (Element Birth & Death), что позволяет смоделировать последовательную укладку нового слоя. Начальное напряжение волокна определено с помощью серии команд Inistate [2]. Достоверность результатов, которые получены численно, проверяласьпутем сопоставлениясо

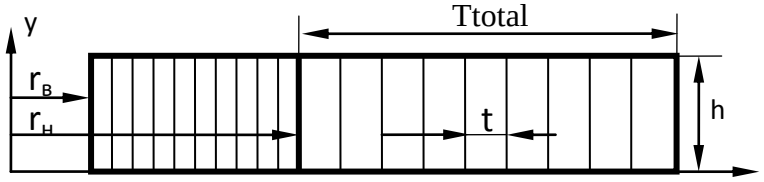


Рис. 1 –Расчетная модель

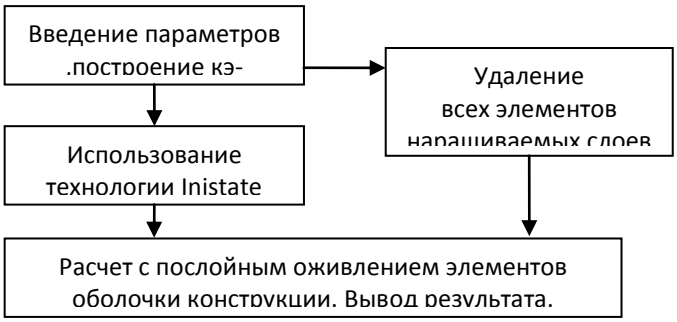


Рис. 2 – Схема расчета

полуаналитическим решением (1)-(3). В качестве примера заданы следующие параметры модели: свойства материала оправки и намотки (слоя) $E = 1e+011\,Па$, $\mu = 0.3$ –коэффициент Пуассона, число слоев $n = 50$, $r_в = 0.45м$, $r_н = 0.5м$, $Ttotal = 0.1м$, начальное напряжение каждого из слоев задано равным $\sigma_{\varphi\varphi}^{(3)} = 200Па$. На графике распределения окружных напряжений (рис.3) отмечено качественное и количественное соответствие результатов, относительная невязка не превышает 1%.

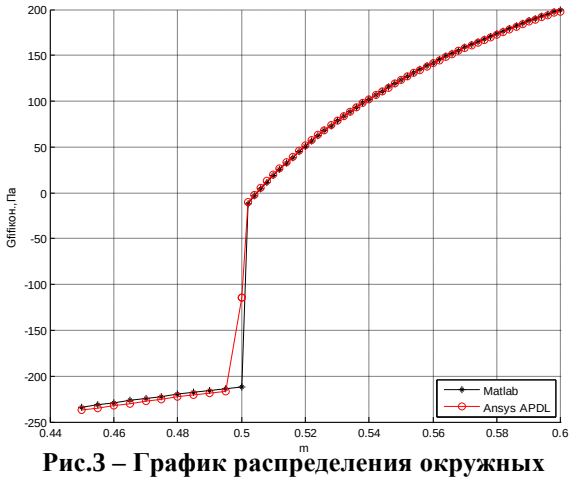


Рис.3 – График распределения окружных остаточных напряжений (изотропия)

Обобщение решения поставленной задачи на случай анизотропного (трансверсально-изотропного) материала, с учетом характера анизотропии, (1)-(2) примет следующий вид.

$$\sigma_{rr}^{(1)} = \frac{p_k r_в^{-k+1} r_н^{k+1}\left(r_в^{2k} - r^{2k}\right)}{\left(r_н^{k+1} - r_в^{k+1}\right) r^{k+1}},\ \sigma_{\varphi\varphi}^{(1)} = -\frac{p_k r_в^{-k+1} r_н^{k+1}\left(r_в^{2k} + r^{2k}\right)}{\left(r_н^{k+1} - r_в^{k+1}\right) r^{k+1}} \tag{4}$$

$$\sigma_{rr}^{(2)} = -p + \left(-p_k r'^{-k+1}_в + p r_н^{-k+1}\right)\frac{r'^{2k}_в\left(r'^{2k}_н - r^{2k}\right)}{\left(r'^{2k}_н - r'^{2k}_в\right) r^{k+1}},\ \sigma_{\varphi\varphi}^{(2)} = -p - \left(-p_k r'^{-k+1}_в + p r'^{-k+1}_н\right)\frac{r'^{2k}_в\left(r'^{2k}_н + r^{2k}\right)}{\left(r'^{2k}_н - r'^{2k}_в\right) r^{k+1}} \tag{5}$$

где $k = \sqrt{E_\varphi / E_r}$.

Как видно из рис. 3, при постоянном усилии намотки остаточные окружные напряжения во внутренних слоях композита уменьшаются в результате обжатия наружными. Решена задача поисказависимости начального натяжения намотки от радиуса (номера слоя), обеспечивающей требуемый закон распределения остаточных натяжений (в простейшем случае – однородное распределение).Использовано два метода, в основе которых лежит решение задачи Ламе. Первый использует встроенную функцию Matlabfminsearch для поиска минимума невязки между заданным и фактическим распределением остаточного натяжения при полиномиальной аппроксимации начального натяжения. Во втором случае учитывается линейность задачи, в результате чего поиск вектора начальных натяжений $\{\sigma^{нач}\}$ сводится к решению СЛАУ: $[\psi^F]\{\sigma^{нач}\} = \{\sigma^{кон}\}$, где ψ_{ij}^F – напряжения в i-слое при намотке j-слоя с единичным натяжением, при этом ψ_{ii}^F =1. $\{\sigma^{кон}\}$ – заданный вектор остаточных натяжений. Результаты для случая однородного поля конечных натяжений слоев $\sigma_j^{кон}$ =200 *Па*

приведены на рис.4., 5. Относительная невязка двух решений, как видно из рисунка, не превышает 5%.

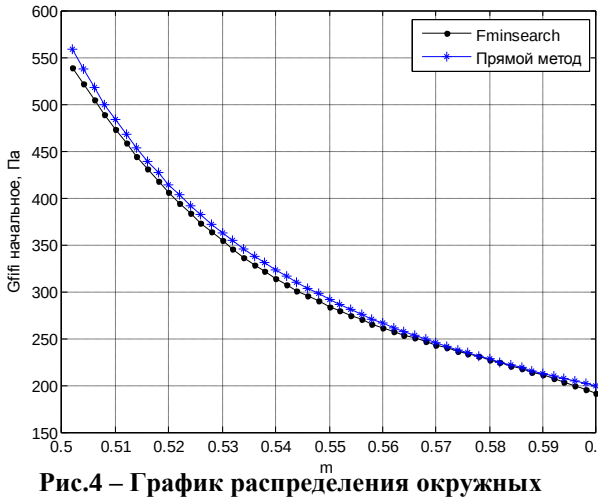


Рис.4 – График распределения окружных начальных напряжений

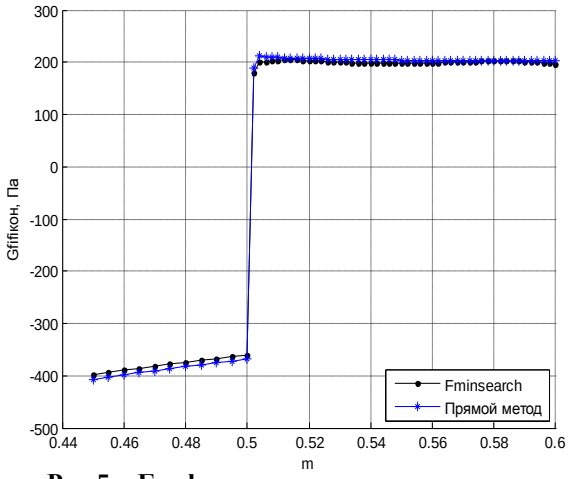


Рис.5 – График распределения окружных остаточных напряжений

Таким образом, подтверждена адекватность численной методики определения НДС при намотке в AnsysAPDL, что позволяет использовать ее при расчете реальных трехмерных конструкций. Результаты оптимизации будут использованы для программирования усилий натяжения намоточных машин, исключающих потерю устойчивости и коробление волокна. Дальнейшие исследования НДС композиции оправка-кокон предполагают учет термовязкоупругих свойств компонентов конструкции, определенных из экспериментов на ползучесть и релаксацию.

Библиографический список

1. Теория упругости: Основы линейной теории и ее применения. Хан Х.: Пер. с нем. – М.: Мир, 1988. – 344 с.
2. ANSYS 14.5 Help // Basic Analysis Guide // 4. Initial State

MODELING OF COMPOSITE POWER SHELL WINDING

Rubtsova Daria M., Smatannikov Oleg Y.

State National Research Politechnical University of Perm, Komsomolsky Av. 29, Perm,Russia, 614000, danikdram@gmail.com

Abstract: The article investigates the modeling of an annular winding of fibers on a mandrel. Presented is the verification of the solution of an elastic one-dimensional problem in the Ansys Mechanical APDL. As part of the work is defined a scheme of numerical calculation of stress-strain state of the mandrel and layers. The used the removal and recovery of elements of the model layers (Element Birth & Death). The initial stress of the layer of fibers is given through the use of technology Inistate package Ansys. The results of the numerical calculations was checked using a

semi-analytical solution of Lame problem for the isotropic model in Matlab. Also obtained the generalized solution for the case of transversely isotropic material. Analysis of two methods optimizing the initial tension of the layers depending on the residual tension of the winding, which are based on the solution of Lame problem.

Key words: numerical simulations, the mandrel, the winding, solution of Lame problem, optimization

УДК 539.3

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА НАКОПЛЕНИЯ РАЗМЯГЧЕНИЙ В ШИНЕ ВО ВРЕМЯ РАЗГОНА АВТОМОБИЛЯ[1]

Соколов Александр Константинович

Институт механики сплошных сред УрО РАН, 614013, Россия, Пермь, ул. Академика Королева, 1, aleksandr__sokol@mail.ru

Терпугов Виктор Николаевич

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

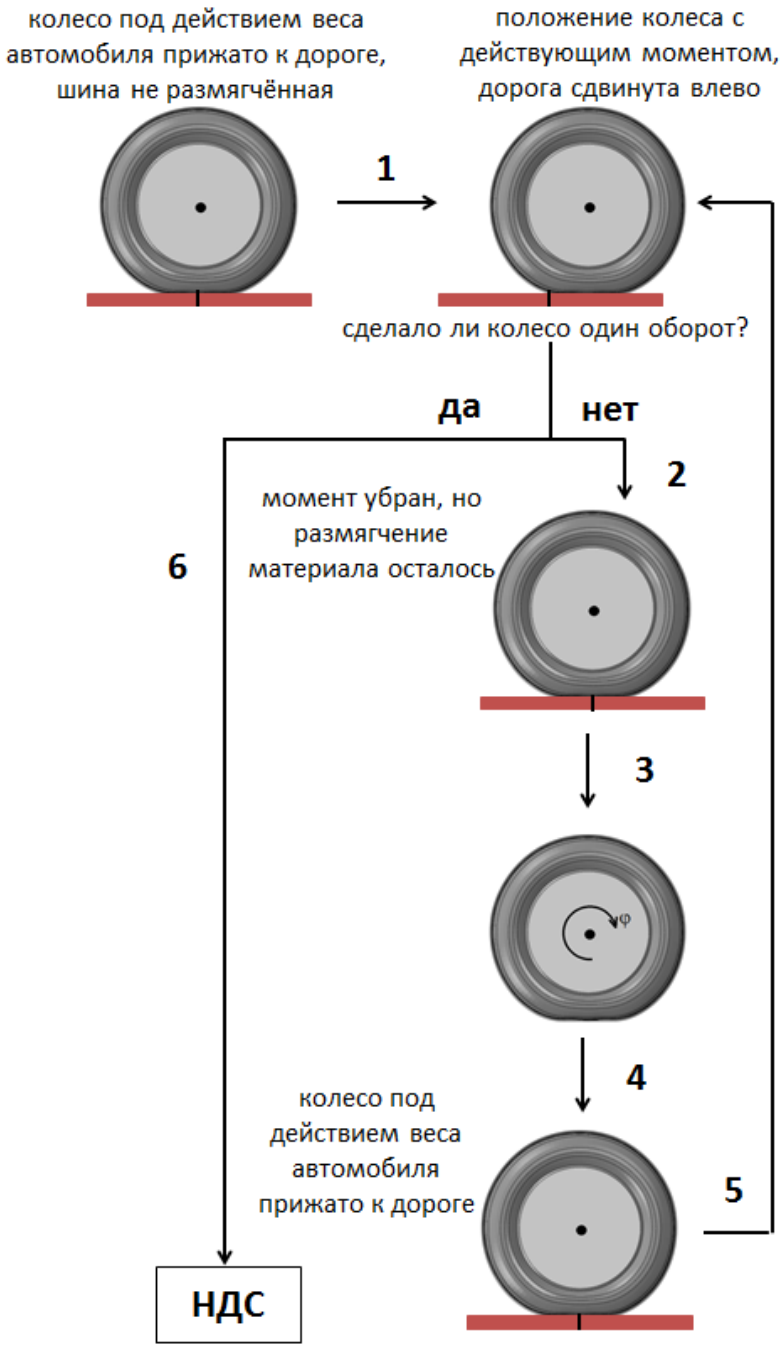
Цель данной работы состоит в изучении влияния эффекта Маллинза, на изменение напряженно-деформированное состояние (НДС) в движущемся колесе автомобиля, при таких режимах работы как разгон и торможение. В России, в шинной промышленности, с нашей точки зрения, уделяется недостаточно внимания, данному эффекту. Эффект Маллинза во многих расчетах не учитывается, например, в работах описываются ситуации качения и наезд на препятствие с учетом сложного строения шины, но без учета эффекта размягчения.Материал шины меняет свои свойства при первом обороте колеса. В разных точках материала это происходит по-разному. Соответственно изменяется и картина распределения деформаций в шине. Для получения решения, учитывающего накопление размягчений материала, был разработан специальный алгоритм расчета изменения напряженно-деформированного состояния автомобильной шины при движении автомобиля с учетом эффекта Маллинза.

Ключевые слова: эффект Маллинза, размягчение резины, гиперупругий материал, модель Огдена-Роксбурга, автомобильная шина, метод конечного элемента, вычислительный эксперимент.

Повышение прочностных свойств протекторной резины, широко используемой в шинной промышленности, осуществляется за счет наполнения каучуковой (эластомерной) матрицы наноразмерными частицами технического углерода [1]. Однако при этом механические испытания образцов такого композита демонстрируют такие эффекты как размягчение и гистерезисные потери [2]. Эффект размягчения в литературе принято называть эффектом Маллинза [3-4]. Акцентируя внимание на важности учета эффекта Маллинза, мы значительно упростили модель колеса и не стали учитывать анизотропные и вязкоупругие свойства эластомерной матрицы.

[1] Публикация подготовлена при финансовой поддержке РФФИ № 14-08-96013-р_урал_а и комплексной программы УрО № 15-10-1-18.
© Соколов А.К., Терпугов В.Н., 2016 г.

Компьютерное моделирование размягчения автомобильного колеса представляет сложную математическую задачу.Для получения устойчивого решения, учитывающего накопление размягчений материала в разных частях шины, предложен специальный алгоритм, проиллюстрированный ниже:



Где шаги:
1 – дорога сдвигается на величину l , в результате появляется вращательный момент в шине и происходит размягчение;
2 – если колесо не сделало оборот; дорога возвращается в исходное состояние, вращательный момент исчезает.
3 – дорога убирается, и колесо поворачивается на угол $\nabla\varphi$;
4 – дорога возвращается;
5 – если колесо не сделало полный оборот, дорога вновь сдвигается на величину l , в результате появляется вращательный момент в шине и происходит размягчение;
6 – получено напряженно – деформированное состояние (НДС) шины во время разгона с учетом эффекта Маллинза;

Величина угла поворота $\nabla\varphi$ для шага 3 вычисляется из следующей формулы $\nabla\varphi = \frac{360l}{\pi d}$, где d - это наружный диаметр колеса, l - величина сдвига дороги.

Рис. 1. Алгоритм нагружения автомобильной шины

С помощью этого алгоритма определяется, как идет размягчение шины в разных ее точках при первом обороте колеса в условиях разгона автомобиля.

Движение автомобильного колеса моделировалось в трехмерной постановке. Для задания характеристик модели колеса был выбран автомобиль с массой 1600 кг, которому для разгона 0 до 100 км/ч необходимо 12 секунд. Значение силы, действующей в этом случае на ведущее колесо 1850 Н. Давление в шине взято 0.17 МПа. Шина имела следующие геометрические характеристики: наружный диаметр – 760 мм; высота протектора шины – 180 мм; ширина протектора шины– 260 мм (рис. 2).

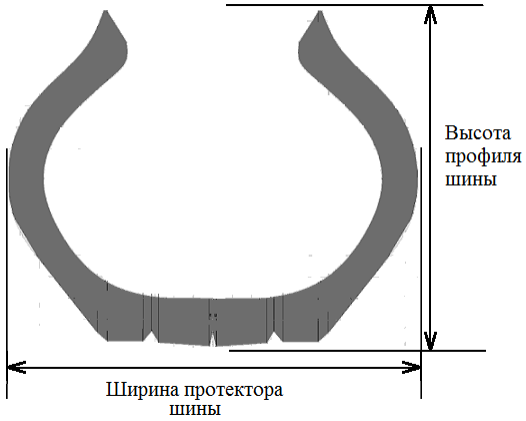
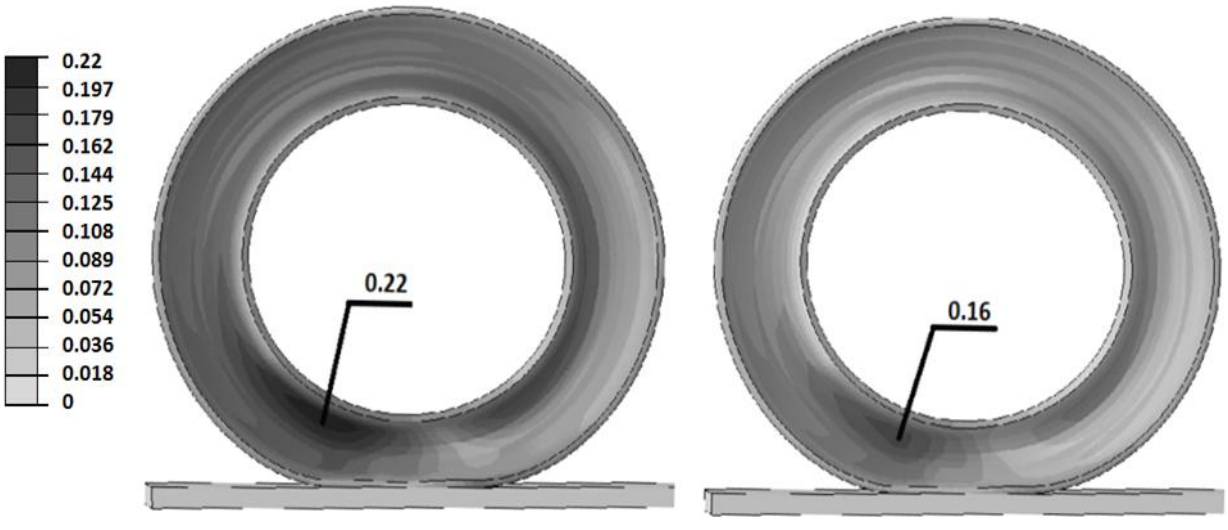


Рис. 4. Геометрические характеристики автомобильной шины

В ходе вычислительного эксперимента установлено, что деформации на боковой поверхности шины с учетом эффекта Маллинза значительно выше, чем в расчетах, в которых этот эффект не учитывался (рис. 3). Для описания механических свойств эластомерной матрицы колеса использовалась модель Огдена четвертого порядка. Для учета степени размягчения применялась модель Огдена–Роксбурга [5].



а **б**

Рис. 3. Распределение эквивалентных деформаций по Мизесу в колесе: а - с учетом эффекта Маллинза; б - без учета эффекта Маллинза. Цифрами 0,22 и 0,16 показано значения максимальных эквивалентных деформаций по Мизесу, соответственно, с учетом и без учета эффекта Маллинза

В ходе вычислительного моделирования поведения колеса при разгоне установлено, что наибольшее изменения происходят в распределении деформаций по объему шины. Максимальные эквивалентные деформации по Мизесу наблюдаются на ее боковой поверхности, что, с нашей точки зрения, может служить одной из причин ее растрескивания. Полученные результаты демонстрируют необходимость анализировать напряжённо-деформированное состояние колеса автомобиля в каждой точке его диаметра с учётом разной степени проявления эффекта Маллинза. Таким образом, моделирование данного эффекта важно для правильного прогнозирования эксплуатационных особенностей использования шин. Акцентируя внимание на важности учета эффекта Маллинза. Проведенные вычисления показали, что даже упрощенная постановка задачи позволяет получить существенное отличие в НДС между расчетами с учетом и без учета эффекта Маллинза.

Библиографическийсписок

1. *Krauss G.* Reinforcement of elastomers by carbon-black // Rub. Chem. Techn. – 1978. – Vol. 51. – P. 297–324
2. *Комар Д.В., Свистков А.Л., Шадрин В.В.* Моделирование гистерезисных явлений при нагружении резин // Высокомолек. соед. – Сер. Б. – 2003. – Т. 45, № 4. – С. 692 – 696.
3. *Mullins L., Tobin N.R.* Stress softening in rubber vulcanizates. Part I. Use of a strain amplification factor to prescribe the elastic behavior of filler reinforced vulcanized rubber // J. Appl. Polym. Sci. – 1965. – V. 9. – P. 2993 – 3005.
4. *Патрикеев Г.А.* Глава в кн. Общая химическая технология. Под ред. С.И. Вольфковича – М.–Л.: // Государственное научно-техническое издательство химической литературы. – 1946. – Т. 2. – С. 407.
5. *Ogden, R. W., Roxburgh, D. G.,* "A pseudo-elastic model for the Mullins effect in filled rubber," Proceedings of the Royal Society of London, A, Vol. 455, pp. 2861-2877, 1999.26.

ALGORITHM FOR CALCULATING THE ACCUMULATION OF SOFTENING IN THE TIRE DURING CAR ACCELERATION

Sokolov Alexander K.

Institute of Continuous Media Mechanics UB RAS, st. Akademika Korolyova, 1, Perm,Russia, 614013, aleksandr__sokol@mail.ru

TerpugovViktor N.

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

The purpose of this study is to investigate the influence of the Mullins effect on changes in the stress-strain state in the moving wheel in such operating regimes as acceleration and braking. To our knowledge, the Russian tire industry has paid insufficient attention to this effect. It is ignored in many calculations, for instance, the rolling and head-on crash situations are described in taking into account the complex structure of a tire, but ignoring the softening effect. The material of a tire changes its properties during the first turn of the wheel, and these variations proceed differently at different points of this material. Accordingly, the pattern of strain distribution in the tire also changes. To obtain a stable solution allowing one to consider material softening accumulation in different parts of the tire, we have developed a special algorithm.

Key words: Mullins effect, rubber softening, hyperelastic material, Ogden- Roxburgh model, car tire, finite-element method, computational experiment

УДК 539.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА БАЗЕ AUTODESK REVIT С ПОСЛЕДУЮЩИМ ЧИСЛЕННЫМ РАСЧЕТОМ В ANSYS MECHANICAL

Фетисов Константин Вадимович, Максимов Петр Викторович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, Россия,г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, c.v.fetisov@gmail.com

В данной статье рассматривается использование адаптивных компонентов в применении к проектированию конструкций и сооружений сложной формы. Под адаптивностью компонентов понимается то, что составные элементы конструкции, построенные в ПО AutodeskRevit, могут изменять и подстраивать свою геометрию в зависимости от вида моделируемого сооружения. Данная особенность может широко использоваться при проектировании нестандартных конструкций с криволинейными формами крыш и фасадов, например, спортивных стадионов, театров и других сооружений. Помимо непосредственного моделирования, важным этапом является дальнейшая проверка конструкции на прочность и устойчивость. В связи с нестандартной формой геометрии применялись численных методы расчета (метод конечных элементов). Расчет проводился в ПО AnsysMechanical.Учитывая то, что в работе использовалось несколько программных продуктов, особое внимание было уделено импорту геометрии и подготовке конечно-элементной сетки. Помимо этого, была рассмотрена технология армирования (reinforcing) и различные типы конечных элементов, которые можно применять в строительной отрасли.

Ключевые слова: вычислительная механика, МКЭ, информационное моделирование зданий, адаптивные компоненты, архитектура.

Адаптивные компоненты являются часто используемыми элементами построения геометрии в AutodeskRevit (программа информационного моделирования зданий – BIM [1], [2]). Одна из причин этого – возможность быстрого построения геометрии, основанной на сложных формах и поверхностях.

© Фетисов К.В., Максимов П.В., 2016 г.

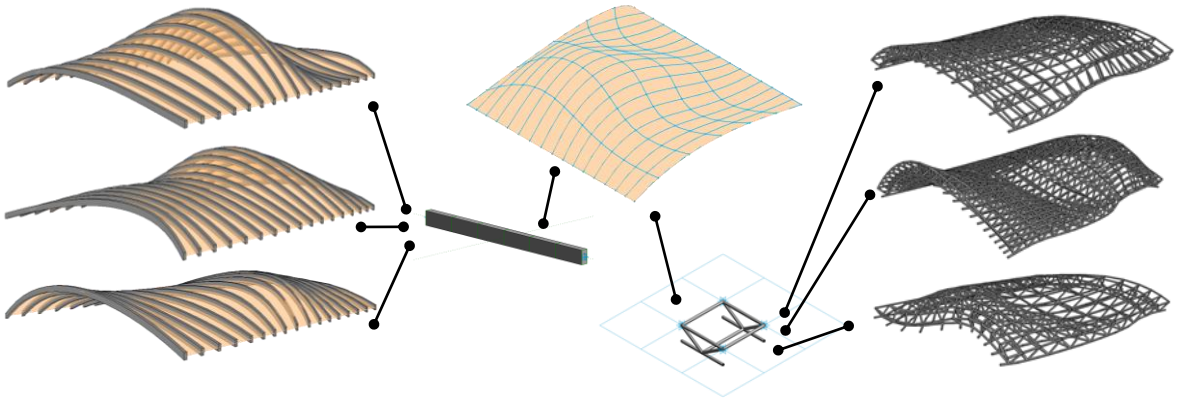


Рис.1. Пример использование адаптивных компонентов.

Основа данных компонентов – адаптивные точки, которые при помощи встроенных алгоритмов взаимодействуют и привязываются к ранее построенной поверхности. На основе этих точек, далее можно усложнять геометрию и достраивать линии, поверхности и твердые тела, получая тем самым адаптивный компонент. После чего данный компонент можно использовать как основу для заполнения поверхности. В зависимости от типа компонентов поверхность заполняется определенным образом, как показано на рис.1. Учитывая то, что поверхность и сам адаптивный компонент можно изменять и перестраивать, в итоге можно получить большое разнообразие сложных форм, которые было бы невозможно построить традиционными способами, что крайне востребовано при проектировании нестандартных конструкций с криволинейными формами крыш и фасадов (спортивных стадионов, театров и других сооружений).

При проектировании сооружений, построение геометрии – первый шаг, который помогает сформировать видение архитектора. Следующим, самым важным этапом, является проверочный расчет (например, анализ прочности или потери устойчивости). Учитывая специфику геометрии, аналитические методы расчета не применимы, тогда как численные методы наоборот, наиболее удобны для решения подобных задач. Для проведения проверочных расчетов использовался пакет конечно-элементного (КЭ) анализа AnsysMechanical. Особое внимание уделялось импорту геометрии, построенной в AutodeskRevit, и подготовке сеточной модели.

Из программы AutodeskRevitможно экспортировать несколько 3d-форматов, из которых больше всего для работы в AnsysMechanicalподходит формат *sat (поддерживаются твердые тела и поверхности), так же можно использовать формат *dwg (поддерживаются линии), но предварительно данный тип файла необходимо открыть в какой-либо CAD программе (например, SpaceClaim), после чего перевести его в формат, поддерживаемый Ansys Mechanical (*iges, *sat, *x_t).

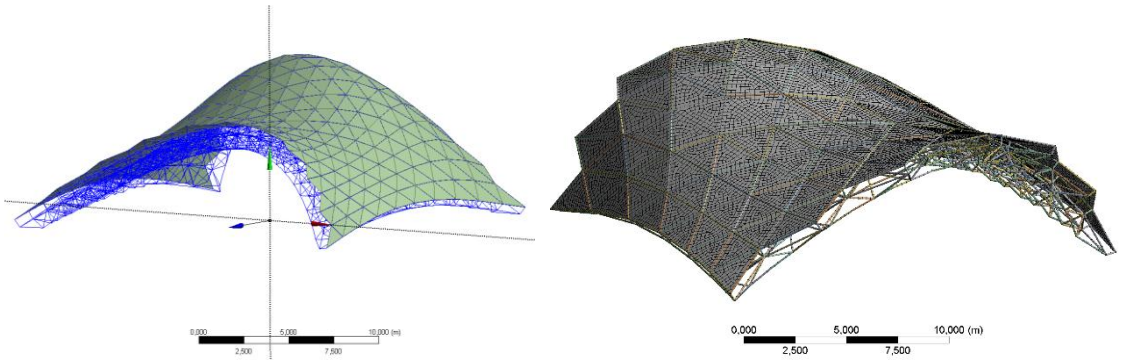


Рис.2. Результат импорта *dwg и *sat файлов (слева) и КЭ сетка, построенная на их основе (справа).

После импорта геометрии, была нанесена КЭ сетка (рис.2). В строительной отрасли можно использовать широкий ряд КЭ. На линии можно наносить следующие КЭ: Link180 – стержневой элемент, может использоваться для анализа рамных конструкций, при дополнительных настройках, как тросовый элемент, Beam189 – балочный элемент, Tube289 и Elbow290 – трубчатый элемент [3]. На поверхности можно наносить КЭ оболочки Shell281, а на твердые тела – Solid186.

Ранее представленная геометрия была разбита на КЭ Beam189 и Shell281.В качестве нагрузки было приложено распределенное давление в 1кПа на поверхности, также учитывался собственный вес конструкции. Результат решения статической упругой задачи представлен на рис.3. Так же была решена задача на нахождение собственных частот и форм колебаний, результат представлен на рис.4.

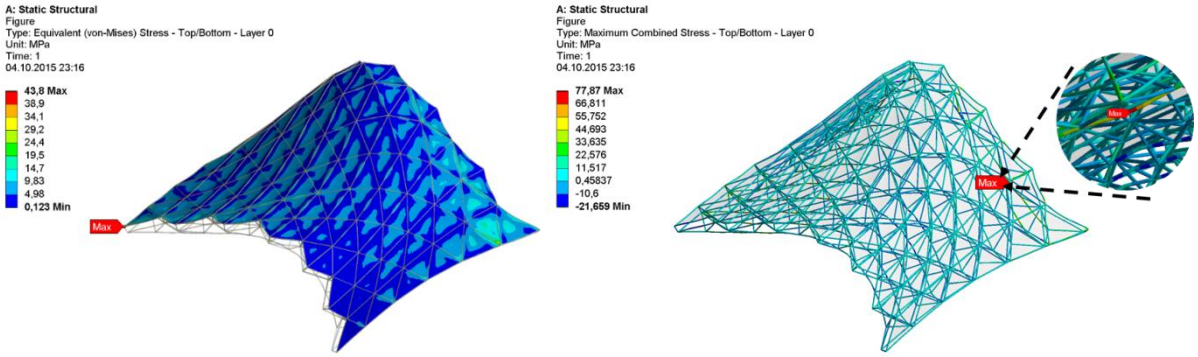
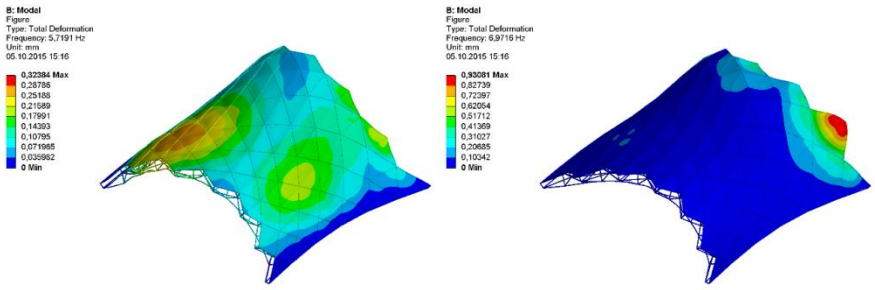


Рис.3. Распределение напряжений в оболочечных КЭ (слева) и балочных КЭ (справа).



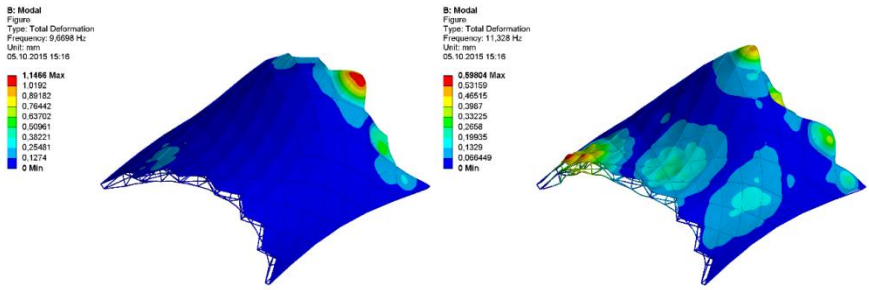


Рис.4. Формы колебаний первых четырех собственных частот.

Так же, в строительной практике часто используют армированные конструкции, например, железобетонные плиты перекрытий [4]. Для моделирования подобных конструкций в AnsysMechanicalсоздана технология армирования (reinforcing). Основная идея заключается в том, что поверх базовых элементов строятся дополнительные элементы (Reinf263, Reinf264,Reinf265), воспринимающие осевые нагрузки и построенные на основе узлов базового КЭ. В качестве базовых элементов могут выступать Plane, Solid, Shell и Beamэлементы.

Пример армирования железобетонной конструкции, представлен на рис.5.

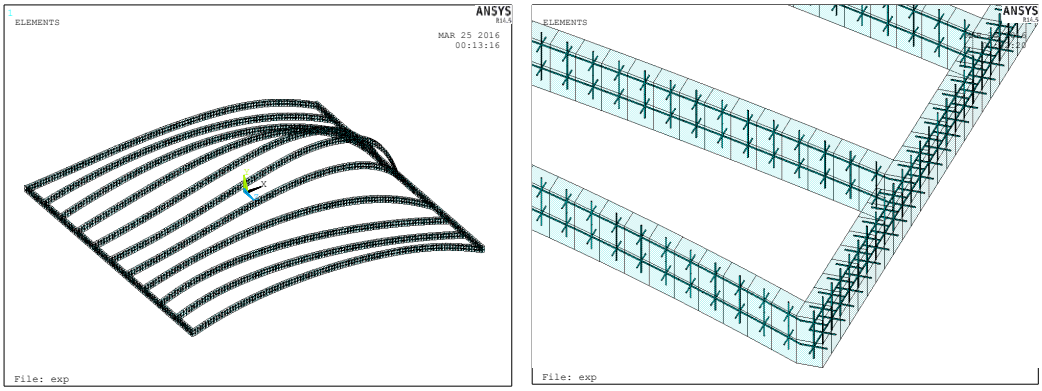


Рис.5. Отображение базовых элементов (полупрозрачные) и армирующих элементов.

В данной работе был представлен метод построения сооружений, основанных на криволинейных поверхностях. Полученная геометрия оказывается достаточно качественной в результате чего, ее можно использовать как основу для нанесения КЭ сетки, после чего можно проводить необходимые виды проверочных расчетов прочности и потери устойчивости. Благодаря большому количеству КЭ и технологии армирования можно с высокой степенью точности моделировать поведение различных строительных элементов, такие как колонны, ферменные конструкции, железобетонные перекрытия. В целом, использование предложенного способа может быть полезно при проектировании сложных криволинейных конструкций, время на построение КЭ сеток будет снижено, а взаимодействие между архитекторами и проектировщикамибудет более продуктивным.

Библиографический список

1. *Ланцов А.Л.*Revit 2010: компьютерное проектирование зданий. Архитектура. Инженерные сети. Несущие конструкции. – М.: ФОЙЛИС, 2009.
2. *Krygiel E.* Mastering Autodesk Revit Architucture 2015. – М.: SYBEX, 2014.
3. *Ковеня А.С.* Применение функциональных возможностей конечно-элементных программных комплексов для моделирования и расчета сетчатых оболочек. – УДК 624.074.4.042.8
4. *Лоусон М.* Стальные конструкции в архитектуре - Украинский центр стального строительства, 2015.

MODELLING CONSTRUCTIONS OF DIFFICULT TOPOLOGY IN AUTODESK REVIT BY USING ADAPTIVE COMPONENTS WITH FURTHER NUMERICAL ANALYSIS IN ANSYS MECHANICAL

Fetisov Konstantin V., Maksimov Petr V.

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm,Russia, 614000, c.v.fetisov@gmail.com

In this article, use of adaptive components in application to design of constructions of difficult topology is considered. Adaptability of components is understood as the fact that the design components constructed in Autodesk Revit can change and arrange the geometry depending on a type of the modelled construction. This feature can widely be used at design of non-standard designs with curvilinear forms of roofs and facades, for example, of sports stadiums, theaters and other constructions. Besides direct modeling, an important stage is further design analysis on durability and stability. For analysis was used Ansys Mechanical. Considering that in work several software products were used, the special attention has been paid to import of geometry and preparation of mesh. In addition, the technology of reinforcing and various types of finite elements, which can be applied in constructions, have been considered.

Key words: FEM, BIM, adaptive component, architecture.

МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА

УДК 532.529.2

ВЛИЯНИЕ СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО РЕЖИМА КОНВЕКЦИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ СЛОЕ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ[1]

Калинина Маргарита Алексеевна, Колчанов Николай Викторович

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, margaret.ka2410@gmail.com

Работа посвящена изучению природы колебательного режима конвекции в магнитной жидкости в плоском горизонтальном слое. В частности, проверяется гипотеза, согласно которой колебания в магнитной жидкости возникают в результате конкуренции двух противоположно направленных потоков твёрдых частиц. Эти потоки возникают из-за термодиффузии частиц в жидкости-носителе и седиментации кластеров, состоящих из нескольких частиц. Размер кластеров зависит от теплового движения молекул, поэтому в работе проведены тепловизионные наблюдения за колебательным режимом при разных средних температурах. По термопарным измерениям построены графики зависимости числа Нуссельта (Nu) от перепада температур на слое жидкости. Для исследования выбраны две магнитные жидкости, изготовленные на основе керосина и ундекана. Зафиксировано, что колебательный режим не наблюдается в магнитной жидкости на ундекане, если средняя температура становится выше 35 ^{o}C. В керосиновой магнитной жидкости колебания существуют при всех температурах, при которых был проведен эксперимент.

Ключевые слова: конвекция, магнитные жидкости, колебательный режим, термодиффузия, седиментация кластеров

Использование магнитной жидкости в науке, технике, медицине и других сферах жизнедеятельности человека постоянно растёт благодаря её свойствам. Основные свойства, которые сохраняют привлекательность магнитной жидкости – это взаимодействие с магнитным полем и текучесть, как у обычных жидкостей. Благодаря этим свойствам, с помощью магнитной жидкости можно существенно повысить теплоперенос [1] или создать конвективное движение в условиях невесомости [2]. Но не следует забывать и про другие свойства магнитной жидкости, которыми она так же обладает из-за своего сложного строения. Магнитная жидкость состоит из нескольких компонент: нанометровых твёрдых частиц, жидкости-носителя и относительно небольшого количества стабилизатора. Твёрдые частицы в жидкости, находясь в гравитационном поле, медленно оседают, что называют явлением седиментации. В случае неоднородного нагрева в магнитной жидкости, как и в любой другой, возникают неоднородности плотности, что может приводить к

[1] Публикация подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-31-00040 мол_а).
© Калинина М.А., Колчанов Н.В., 2016 г.

неустойчивости механического равновесия и возникновению макроскопических движений элементов жидкости – конвекции. Перераспределение плотности жидкости, так же образуется из-за диффузионных и термодиффузионных процессов. Наличие перечисленных выше явлений приводит к интересному конвективному поведению магнитной жидкости даже в отсутствие внешнего магнитного поля. Особенность такого поведения в том, что практически сразу после разрушения механического равновесия с ростом числа Рэлея (Ra) возникают режимы конвекции с нерегулярным движением тепловых возмущений вдоль горизонтального слоя [3, 4]. Колебательный режим всё же существует, но в относительно узком диапазоне значений Ra между механическим равновесием и нерегулярными режимами [5]. Природа колебаний может быть объяснена конкуренцией нескольких вызывающих массоперенос механизмов. В плоском горизонтальном слое магнитной жидкости при подогреве снизу образуются молекулярные потоки тяжёлой компоненты (твёрдых частиц) вследствие седиментации и термодиффузии.

В настоящей работе для исследования колебательного режима конвекции в магнитной жидкости используется горизонтальный слой, который представляет собой цилиндрическую полость с высотой 2.4 мм и 58 мм в диаметре. Сверху полость ограничена стеклом из соли фторида лития, которое пропускает инфракрасное излучение, а снизу – алюминиевой пластинкой. Подогрев снизу обеспечивался медным теплообменником. Определение теплопередачи через слой жидкости осуществлялось с помощью датчика теплового потока, который состоит из двух дифференциальных медь-константановых термопари твердой прослойки (из органического стекла) толщиной 1 мм, расположенной между алюминиевой пластинкой и медным теплообменником.Первая термопара измеряла перепад температур между границами горизонтального жидкого слоя ($\Delta T_ж$), вторая – на твердой прослойке ($\Delta T_{тв}$). По данным этих термопар вычислялась величина $Nu=k\cdot\Delta T_{тв}/\Delta T_ж$, где k – это зависящий от толщин и теплопроводностей слоя жидкости и твёрдой прослойки коэффициент. Для нахождения абсолютной температуры медного теплообменника использовалась третья термопара, один спай которой находился в массиве теплообменника, а второй – выведен к ртутному термометру, измеряющему температуру в лаборатории. Для поддержания температуры верхней границы полости использовалась система термостатирования, подробное описание которой представлено в работе [5]. Возмущения температурного поля регистрировались с помощью тепловизора.

По результатам проделанной работы для магнитной жидкости на основе ундекана с объёмной долей магнетитовых частиц 15% были получены графики зависимости Nu от $\Delta T_ж$. По данным графикам на рис. 1 можно увидеть, что пороговое значение перепада

температур,соответствующее потере устойчивости механического равновесия, уменьшается с увеличением средней температуры по слою. На рис. 2 показана зависимость значения порогового перепада температур от средней температуры по жидкому слою. Тепловизионные наблюдения показали, что колебательный режим существует, если среднее значение температуры по слою жидкости не превышает 35°C (область I). В области II – данный режим не наблюдался.

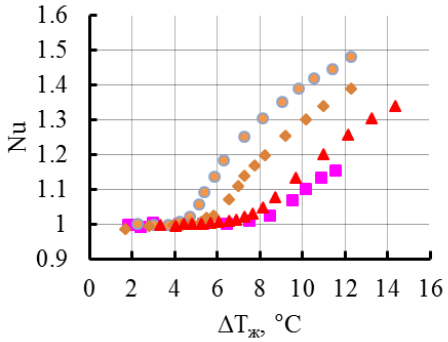


Рис. 1. График зависимости числа Нуссельта от перепада температуры при различной средней температуре по слою (квадраты – 20 °C; треугольники – 30 °C; ромбы – 40 °C; круги – 50 °C).

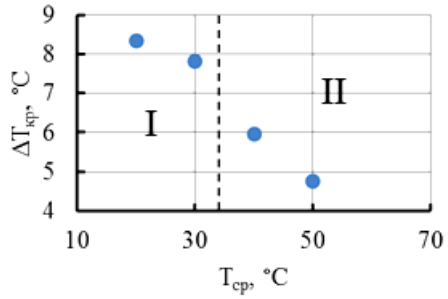


Рис. 2. График зависимости порогового перепада температуры от средней температуры по слою (I – область с колебательным режимом; II – область без колебательного режима).

Для магнитной жидкости на основе керосина с объёмной долей магнетитовых частиц 16% был построен аналогичный график зависимости Nu от $\Delta T_ж$ (рис. 3). Было замечено, что описанный выше колебательный режим существует при всех средних температурах, реализованных в данном эксперименте.

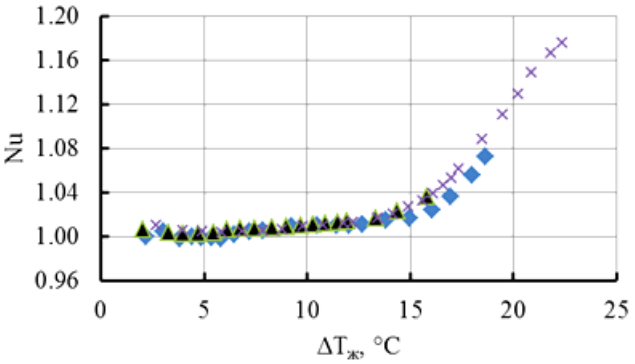


Рис. 3. График зависимости числа Нуссельта от перепада температуры при различной средней температуре по слою (ромбы – 35 °C; треугольники – 40 °C; кресты – 45 °C)

В магнитной жидкости частицы объединяются в кластеры[6], размеры которых уменьшаются с ростом средней температуры вследствие интенсификации теплового движения молекул. В этом случае основное влияние на макроскопическое движение жидкости оказывает термодиффузия частиц, а седиментация становится не существенной. Этим объясняется исчезновение колебательного режима в магнитной жидкостина основе ундекана с ростом средней температуры. В керосиновой жидкости колебания с ростом средней температуры не исчезали, что объясняется неспособностью теплового движения молекул разрушить кластеры. В слое

молекул стабилизатора, покрывающем магнетитовую частицу керосиновой жидкости, гораздо больше дефектов, чем в ундекановой, т.к. срок эксплуатации первой составляет 10 лет, а второй – всего один год.

Библиографическийсписок

1. *Nkurikiyimfura I., Wan Y., Pan Z.*Heat transfer enhancement by magnetic nanofluids – A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013, 21, P. 548-561.
2. *Finlayson B. A.* Convective instabilities of ferromagnetic fluids // J. Fluid Mech. 1970. V. 40. P. 753–767.
3. *Bozhko A. A., Putin G.F.* Heat transfer and flow patterns in ferrofluid convection. // J. MagnetoHydroDynamics. 2003. V. 39, N. 2. P. 147−168.
4. *Казанцев М.Ю., Колчанов Н.В.* О гравитационной конвекции в коллоидах // Вестник Пермского университета. Серия: Физика, выпуск 4 (22), 2012, с. 79-82.
5. *Kolchanov N. V., Putin G. F.*Gravitational convection of magnetic colloid in a horizontal layer // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2015, 89, P. 90-101.
6. *V. Buzmakov, A. Pshenichnikov.* On the structure of microaggregates in magnetite colloids, J. Colloid Interface Sci. 182 (1) (1996) 63–70.

EFFECT OF THE AVERAGE TEMPERATURE ON THE ONSET OF OSCILLATORY CONVECTIVE REGIME IN A HORIZONTAL LAYER OF MAGNETIC COLLOID

Kalinina Margarita A., Kolchanov Nikolay V.

PermStateUniversity, st. Bukireva, 15, Perm,Russia, 614990, margaret.ka2410@gmail.com

The work is devoted to the investigation ofthe nature of oscillatory convective regime in a horizontal layer of magnetic fluid. Particularly, the hypothesis, according to which oscillations in magnetic colloid occur as a result of two opposing flows of solid particles, is verified. These flows occur due to the thermal diffusion of magnetite particles in the carrier fluid and the sedimentation of clusters composed of few particles. The size of clusters depends on the thermal motion of molecules, so thermal-imaging measurements were carried out at different average temperatures. According to thermocouple measurements obtained, we plotted the Nusselt number (Nu) versus the temperature difference at the boundaries of the fluid layer. Kerosene-based and undecane-based magnetic fluids were investigated in the present study. It was revealed that the oscillatory regime was not observed in the magnetic colloid based on the undecane at the average temperature higher than 35 ^{o}C.In the kerosene-based magnetic fluid oscillations took place at all temperatures, at which experiment was conducted.

Keywords: convection, magneticfluids, oscillatoryregime, thermal diffusion, sedimentation of clusters

УДК 622.817

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ РАСЧЕТ ВЗРЫВА ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ПОМЕЩЕНИИ

Карсеко Кирилл Сергеевич, Горбаченко Владислав Сергеевич

Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, 246746, Республика Беларусь, г. Гомель, проспект Октября, 48, kirill.karseko@mail.ru

Газовоздушные смеси (ГВС) образуются на ряде производств в нормальных или аварийных условиях и могут стать источником очень мощных взрывов. Наиболее опасны взрывы смесей с воздухом углеводородных газов (метана, пропана, бутилена, бутана, этилена и др.), а также паров воспламеняющихся жидкостей. Взрывы ГВС могут происходить во внутренних полостях оборудования и трубопроводов, в помещениях (зданиях) в результате утечки газа, в емкостях для хранения и транспортировки взрыво- и пожароопасных веществ (резервуарах, газгольдерах, цистернах, грузовых отсеках танкеров) или на открытом пространстве при разрушении газопроводов, разливе и испарении жидкостей. Взрывы горючих газов с воздухом с тяжелыми последствиями происходят на шахтах. Цель данной работы состоит в автоматизации расчета избыточного давления, развиваемого при сгорании газопаровоздушных (ГПВС) смесей в помещении.

Ключевые слова: взрыв, автоматизированный расчет, газовоздушная смесь, топливовоздушная смесь, избыточное давление.

Особенно велика вероятность взрыва ГПВС на объектах нефтехимической и химической промышленности, где хранятся и используются значительные объемы горючих газов (ГГ) и легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ). Именно поэтому учет возможности возникновения избыточного давления для таких предприятий наиболее важен.

При разработке программы особое внимание было уделено типу горючих веществ, так как для разных горючих веществ избыточное давление рассчитывается по-разному.Общий вид программы представлен на рис. 1.

К основным факторам, влияющим на параметры взрыва, относят массу и тип взрывоопасного вещества, его параметры и условия хранения или использования в технологическом процессе, место возникновения взрыва, объемно-планировочные решения сооружений в месте взрыва. Именно на основе этих данных работает программа.

При расчете избыточного давления при взрыве газопаровоздушных смесей в качестве расчетного следует выбирать наиболее неблагоприятный вариант развития взрыва, при котором в помещение поступает (или постоянно находится) максимальное количество

© Карсеко К.С., Горбаченко В.С, 2016 г.

наиболее опасных в отношении последствий взрыва газопаровоздушных смесей и пожара веществ и материалов.

Избыточное давление Δp, кПа, для индивидуальных горючих веществ, состоящих из атомов C, H, O, N, Cl, Br, I, F, рассчитывают по формуле:

$$\Delta p = (p_{\max} - p_0) \cdot \frac{m \cdot Z}{V_{ñâ} \cdot \rho_{ã,ï}} \cdot \frac{100}{C_{ñò}} \cdot \frac{1}{K_í},$$

где p_{max} — максимальное давление, развиваемое при сгорании стехиометрической газовоздушной или паровоздушной смеси в замкнутом объеме, определяемое экспериментально или по справочным данным (при отсутствии данных допускается приниматьp_{max}равным 900 кПа);

p_0— начальное атмосферное давление, кПа;

m— масса горючего газа (ГГ) или паров легковоспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих жидкостей (ГЖ), вышедших в результате расчетной аварии в помещение, кг;

Z— коэффициент участия горючего при сгорании газопаровоздушной смеси, который может быть рассчитан на основе характера распределения газов и паров в объеме помещения (допускается принимать Z по таблице 1, которая открывается при нажатии на соответствующую кнопку);

$V_{св}$ — свободный объем помещения, м^3 (в программу вводится общий объем помещения, а далее, из расчета, что 20% объема занимает технологическое оборудование, $V_{св}$ находится по формуле $V_{св} = 0{,}8V$);

$\rho_{г,п}$ — плотность газа или пара при расчетной температуре t_p кг/м^3, вычисляемая по формуле $\rho_{ã,ï} = \frac{M}{V_0 \cdot (1 + 0{,}00367 \cdot t_p)}$, где

M — молярная масса, кг/кмоль;

V_0— мольный объем, равный 22,4 м^3/кмоль;

t_p — расчетная температура, °С.

В качестве расчетной температуры следует принимать максимально возможную температуру воздуха в данном помещении в соответствующей климатической зоне или максимально возможную температуру воздуха по технологическому регламенту с учетом возможного повышения температуры в аварийной ситуации. Если такого значения расчетной температуры t_p по каким-либо причинам определить не удается, допускается принимать ее равной 61 °С.

Для расчета данного типа горючих веществ используется главная форма программы, в которой пользователь вводит исходные параметры газа и указывает его вид. При отсутствии

нужного вида горючего предусмотрена отдельная форма («Информация о некоторых горючих газах») для расчета стехиометрического коэффициента кислорода в реакции сгорания, молярной массы горючего и стехиометрической концентрации газа или пара.

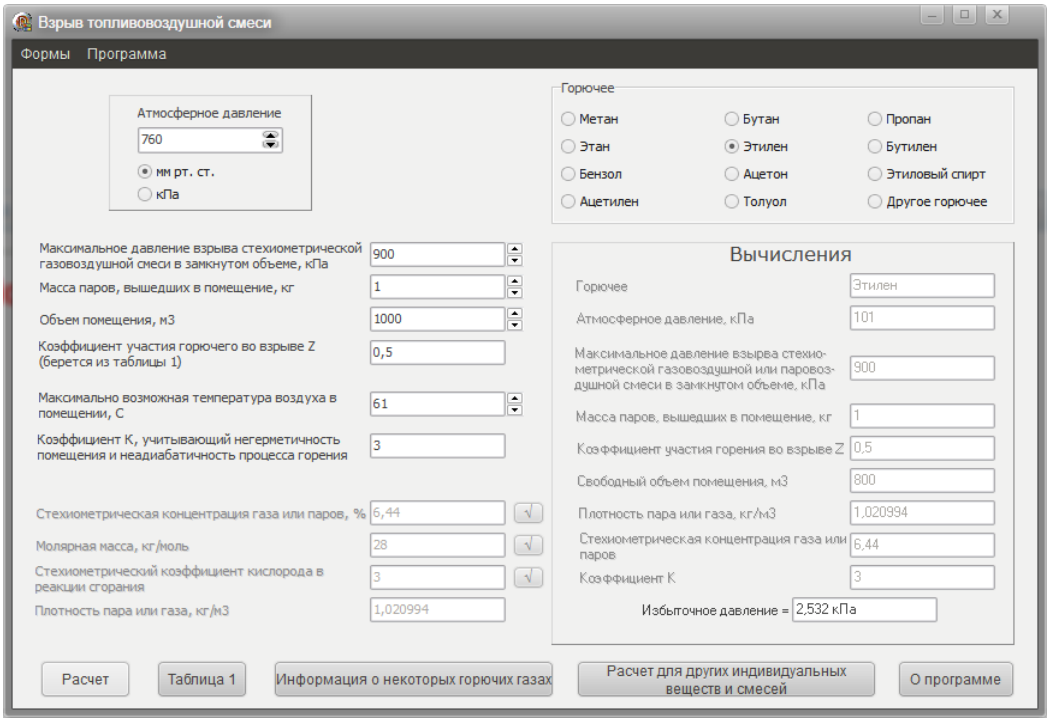


Рис. 1. Общий вид программы

Расчет избыточного давления Δp, кПа, для индивидуальных веществ, а также для смесей может быть выполнен по формуле:

$$\Delta p = \frac{m \cdot H \cdot p_0 \cdot Z}{V_{\tilde{n}\hat{a}} \cdot \rho_{\hat{a}} \cdot \tilde{N}_{\eth} \cdot \grave{O}_0} \cdot \frac{1}{\hat{E}_{\acute{i}}},$$

$\rho_в$ — плотность воздуха при начальной температуре T_0, кг/м^3 (рассчитывается автоматически);

C_p — теплоемкость воздуха, Дж/кг·К (допускается принимать равной $1{,}01 \cdot 10^3$Дж/кг·К);

T_0 — начальная температура воздуха, К

$K_н$ — коэффициент, учитывающий негерметичность помещения и неадиабатичность процесса горения (допускается принимать$K_н$равным трем)[1].

Оценить степень разрушения зданий и сооружений объекта и жилого массива можно в специальном окне после нажатия на кнопку «Величины избыточных давлений, вызывающие различные степени разрушения зданий и оборудования» в строке меню главной формы.

Используемая в данной программе методика расчета избыточного давления справедлива только для взрывов газопаровоздушных смесей внутри помещений. При взрыве в открытом пространстве, а также при взрыве пылевоздушного облака, необходимо воспользоваться другими методиками.

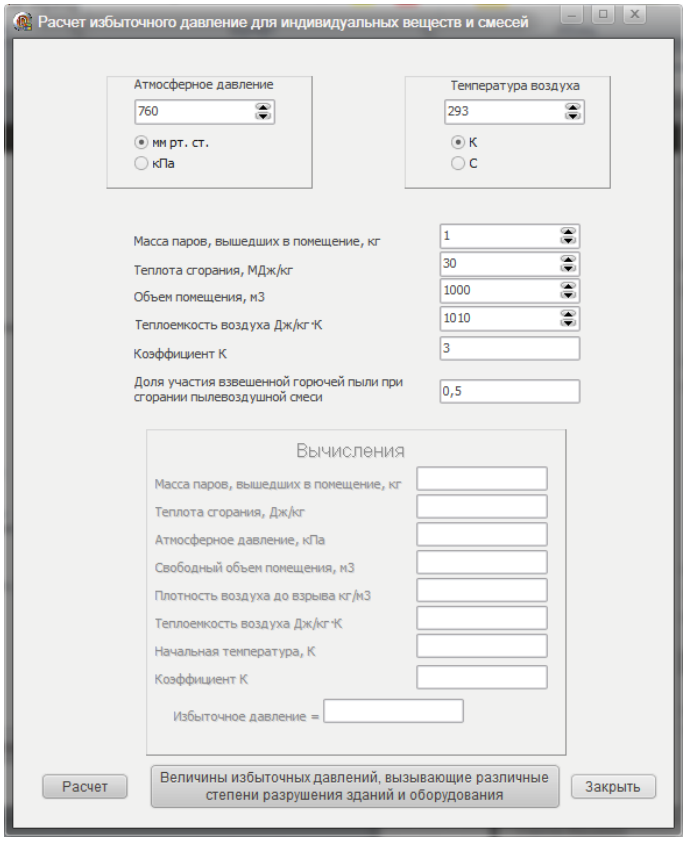


Рис. 2. Форма для расчета избыточного давления для индивидуальных веществ и смесей

Библиографический список

1. *Мартынюк В.Ф., Прусенко Б.Е.*Защита окружающей среды в чрезвычайных ситуациях: Учебное пособие для вузов.- М.: ФГУП Изд-во "Нефть и газ" РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003.- 336 с.

AUTOMATED CALCULATION OF EXPLOSION OF AIR-FUEL MIXTURE IN BUILDINGS

Karseka Kiryl S., Harbachenka Uladzislau S.

Gomel State Technical University named after P.O. Sukhoi, October Av. 48,Gomel, Republic of Belarus,246746, kirill.karseko@mail.ru

Gas mixture (GM) are formed on a number of productions in normal and emergency conditions and can be a source of very powerful explosions. The most dangerous explosions are mixtures with air of hydrocarbon gases (methane, propane, butylene, butane, ethylene, etc.) and vapors of flammable liquids. GM explosions can occur in the internal cavities of equipment, pipelines, buildings, tanks for storage and transportation of explosive and flammable substances or in an open space with the destruction of gas pipelines, spillages and evaporation of liquids. Explosions of combustible gases with air occur in the mines with serious consequences. The aim of this work is to automate the calculation of the excess pressure developed by the combustion gas mixtures in buildings.

Key words: explosion, automated calculation, gas mixture, air-fuel mixture, excess pressure.

УДК 532.5

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИЙ НА КОНКУРЕНЦИЮ КОРОТКОВОЛНОВЫХ И ДЛИННОВОЛНОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ РАВНОВЕСИЯ В СЛОЯХ ЖИДКОСТИ И НАСЫЩЕННОЙ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ[1]

Колчанова Екатерина Андреевна

Институт механики сплошных сред УрО РАН, 614013, Россия, г. Пермь, ул. Академика Королева, 1, ekaterina_shishk@mail.ru

Работа посвящена исследованию возбуждения осредненного конвективного движения в подогреваемой снизу двухслойной системе “однокомпонентная жидкость – пористая среда, насыщенная той же жидкостью”, в поле тяжести и вертикальных вибраций высокой частоты. Рассматривается модельная пористая среда, представляющая собой систему упакованных стеклянных шаров. Задача линейной устойчивости равновесия решается численно с помощью метода построения фундаментальной системы решений. Показано, что коротковолновые возмущения равновесия, локализующиеся в жидком слое, более подвержены стабилизирующему действию вертикальных вибраций по сравнению с длинноволновыми возмущениями, охватывающими оба слоя, что объясняется сопротивлением скелета пористой среды движению жидкости в ней. Влияние вибраций на возникновение течения в пористой среде при заданных прочих параметрах задачи сильнее проявляется для жидкостей с малыми числами Прандтля, например, для жидких металлов.

Ключевые слова: конвекция, двухслойная система, пористая среда, вибрации

Конвективный тепломассоперенос в слоях однородной жидкости и насыщенной пористой среды возможен при наличии изменения плотности жидкости, вызванной неоднородностью нагрева в поле силы тяжести. Возникновение движения жидкости приводит к усилению теплопередачи по сравнению с ситуацией, когда жидкость находится в состоянии механического равновесия, при котором передача тепла происходит посредствам теплопроводного механизма. Рассматриваемая конвективная задача может найти свое применение в различных технологических процессах, связанных с получением или использованием пористых материалов. Усиление теплопереноса в пористых и жидких слоях может повысить энергоэффективность производства. Вибрации действуют на неоднородности плотности жидкости и приводят к возникновению осреднённого движения, поэтому являются одним из способов управления конвекцией в слоях.

Известно [1-3], что равновесие в системах слоев однокомпонентной жидкости и насыщенной пористой среды в статическом поле тяжести теряется монотонных образом с ростом интенсивности нагрева. Порог устойчивости равновесия определяется для

[1] Публикация подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-31-60004 мол_а_дк).
© Колчанова Е.А., 2016 г.

нейтральных возмущений, которые не затухают и не нарастают. Поскольку жидкость при движении в пористой среде испытывает сопротивление пористого скелета, возможны два вида возмущений: возмущения с меньшей длиной волны (коротковолновые возмущения), локализованные в жидком слое, и возмущения с большей длиной волны (длинноволновые возмущения), охватывающие оба слоя. Нейтральная кривая (т.е. зависимость теплового числа Релея-Дарси R_mот волнового числа k, определенного по обратной толщине пористого слоя) в этом случае имеет бимодальный характер (кривая 1, рис. 1).

Настоящая работа является продолжением исследований по влиянию вибраций на конвекцию в системах слоев жидкости и пористой среды[4,5].Общий осредненных подход к описанию влияния высокочастотных вибраций на конвекцию в жидкости и насыщенной пористой среде разработан в [6-8].

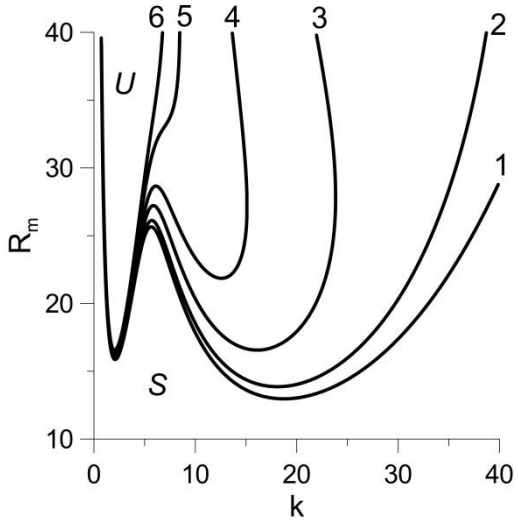


Рис. 1. Нейтральные кривые устойчивости при отношении жидкого и пористого слоев d = 0.15, Ω = 0.1 и различных значениях вибрационного ускорения η: 0 (кривая 1), 8 (кривая 2), 14 (кривая 3), 18 (кривая 4), 23 (кривая 5), 25 (кривая 6). U – область неустойчивости равновесия, S – область устойчивости.

Рассматривается модельная пористая среда, представляющая собой систему упакованных стеклянных шаров. В качестве насыщающей жидкости выбрана вода. Такая среда имеет пористость m = 0.4 и довольно высокую проницаемость, так что оценка числа Дарси по формуле Кармана-Козени [9] для отношения толщины пористого слоя к диаметру шаров, равного 10, дает ε = 10^{-5}. На рис. 1 и рис. 2 приведены нейтральные кривые и карты устойчивости равновесия при изменении интенсивности вибраций, характеризуемой безразмерным вибрационным ускорением η = $a\omega^2/g$ (где a, ω–амплитуда и частота вибраций, g–ускорение свободного падения), для фиксированной безразмерной частотыΩ = ωK/ν = 0.1 (где K–проницаемость среды, ν – вязкость жидкости). Для шаров диаметра 2 мм, частота вибраций равна ω = 25 c^{-1} или 4 Гц. Видно, что вибрации стабилизуют равновесие и оказывают большее влияние на коротковолновые возмущения по сравнению с длинноволновыми (кривые 2-6 на рис.1). Это можно объяснить различной ролью инерционных эффектов в слоях жидкости и пористой среды. Излом кривых 2 и 3 на рис. 2, возникающий при увеличении интенсивности

вибраций, связан с переходом от коротковолновых возмущений к длинноволновым наиболее опасным возмущениям.

Влияние вибраций на длинноволновую моду неустойчивости удобно проследить для предельного случая конвекции в слое пористой среды, насыщенном жидкостью [7,8]. На рис. 3 показаны карты устойчивости равновесия при изменении интенсивности вибраций для различных значений числа Прандтля насыщающей пористую среду жидкости. Видно, что при фиксированной безразмерной частоте вибраций $\Omega = 0.1$ наибольшее влияние вибрации оказывают на жидкости с малыми числами Прандтля, например, на жидкие металлы.

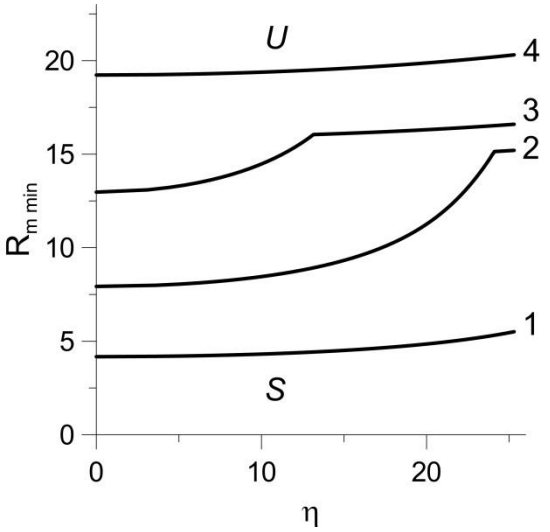


Рис. 2. Карты устойчивости равновесия при Ω = 0.1 в зависимости от вибрационного ускорения прификсированных значениях отношения толщин слоев*d*: 0.20 (крива 1), 0.17 (кривая 2), 0.15 (кривая 3), 0.10 (кривая 4).*U* – область неустойчивости равновесия, *S* – область устойчивости.

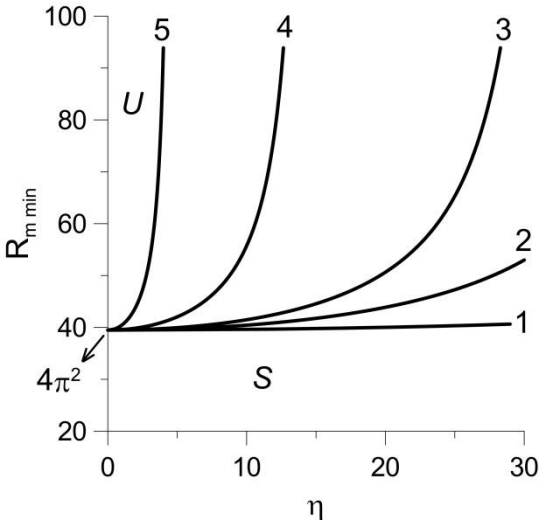


Рис. 3. Карты устойчивости равновесия в пористом слое, насыщенном жидкостью, при *d* = 0, Ω = 0.1 в зависимости от вибрационного ускорения при фиксированных значениях числа Прандтля насыщающей жидкости Pr: 7 (кривая 1, вода), 1 (кривая 2), 0.5 (кривая 3), 0.1 (кривая 4), 0.01 (кривая 5, жидкие металлы).

Библиографический список

1. *Любимов Д.В., Муратов И.Д.* О конвективной неустойчивости в слоистой системе // Гидродинамика. 1977. Вып. 10. С. 38-46.
2. *Chen F., Chen C.F.* Onset of finger convection in a horizontal porous layer underlying a fluid layer // J. Heat Transfer. 1988. V. 110. P. 403-409.
3. *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. // Transp. PorousMed.2013. V. 97. P. 25-42.

4. *Любимов Д.В., Любимова Т.П., Муратов И.Д., Шишкина Е.А.* Влияние вибраций на возникновение конвекции в системе горизонтального слоя чистой жидкости и слоя пористой среды, насыщенной жидкостью. // Изв. РАН. МЖГ. 2008. № 5. С. 132-143.
5. *Lyubimov D., Kolchanova E., Lyubimova T.* Vibration effect on the nonlinear regimes of thermal convection in a two-layer system of fluid and saturated porous medium. // Transp. Porous Med. 2015. V.106. P. 237-257.
6. *Gershuni G.Z., Lyubimov D.V.* Thermal Vibrational Convection. Wiley: N.Y., 1998.
7. *Зеньковская С.М., Роговенко Т.Н.* Фильтрационная конвекция в высокочастотном вибрационном поле. // ПМТФ. 1999. № 3. С. 22–29.
8. *Bardan G., Mojtabi A.* On the Horton–Rogers–Lapwood convective instability with vertical vibration. // Phys. Fluids. 2000. V. 12, N. 2723.
9. *Carman P. C.* Fluid flow through granular beds // Trans. Instn Chem. Engrs. V. 15. 1937. P. S32-S48.

VIBRATION EFFECT ON COMPETITION OF SHORT-WAVE AND LONG-WAVE PERTURBATIONS OF EQUILIBRIUM IN SUPERPOSED FLUID AND SATURATED POROUS MEDIA LAYERS

Kolchanova Ekaterina A.

Institute of Continuous Media Mechanics UB RAS, st. Academ. Koroleva, 1, Perm,Russia, 6149013, ekaterina_shishk@mail.ru

The work is devoted to the research of the excitation of the average convective flow in a two-layer system “single-component fluid - porous medium saturated with the same fluid” heated from below in the gravity field and in the field of vertical high-frequency vibrations. We consider a model porous medium, which is a system of packed glass spheres. The problem of linear stability of the equilibrium is solved numerically using the method of the construction of the fundamental system of solutions. It is shown that the short-wave perturbations located in the fluid layer are more susceptible to the stabilizing effect of vertical vibrations in comparison with the long-wave perturbations spanning both layers. It is due to the resistance of the matrix of the porous medium with respect to the fluid flow within it. The vibration effect on the occurrence of the flow in the porous medium with fixed other parameters of the problem is more pronounced for fluids with low Prandtl numbers, for example, for liquid metals.

Keywords: convection, two-layer system,porous medium, vibrations

УДК 539.3

ИСПАРЕНИЕ МОЛЕКУЛ ОТВЕРДИТЕЛЯ В РЕАКЦИИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ[1]

Мальцев Марат Сергеевич, Свистков Александр Львович, Терпугов Виктор Николаевич

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

Комар Людмила Андреевна

Институт механики сплошных сред УрО РАН, 614000, Россия,г. Пермь, ул. Академика Королева, 1, A.Svistkov@yandex.ru

Полимерные материалы на основе эпоксидных смол, благодаря уникальности своих свойств, имеют широкое применение в промышленности. В данной работе рассматриваются особенности использования реакции отверждения эпоксидных смол для изготовления конструкций в условиях открытого космоса. Особенность технологии состоит в том, что в космосе объекты подвергаются действию высокого вакуума, потоку высокоэнергетических заряженных частиц, набегающему потоку атомарного кислорода и резким изменениям температуры от -150 до $+150°C$.Особенность разрабатываемой нами математической модели состоит в специальном выборе граничных условий для испаряющихся в космос из материала молекул и учете молекулярно-массового распределения компонентов отверждаемой смеси. Исследуемым материалом является композит с тканевой основой и полимерным связующим, полученный в результате химической реакции отверждения бифункциональной эпоксидной смолы и шестифункционального триэтилентетраамина. Предложенная модель позволяет рассматривать одновременно процессы кинетики химической реакции и испарения компонентов с учетом их молекулярных масс.

Ключевые слова: эпоксидный материал, реакция отверждения, испарение компонентов, открытый космос

Полимерные композиционные материалы на основе эпоксидных смол, благодаря уникальности своих свойств, имеют широкое применение в промышленности. Они обладают высокой прочностью и низким весом, что делает их наиболее перспективными в будущих больших конструкциях на орбите Земли и в дальнем космосе.Высокая радиационная стойкостьпозволяет использоватьэти материалы для создания космических объектов, как на околоземных орбитах, так и планировать их использование на Луне и Марсе. В условиях открытого космоса эти объекты подвергаются действию высокого вакуума, потоку высокоэнергетических заряженных частиц, набегающему потоку атомарного кислорода и резким изменениям температуры от -150 до $+150°C$.Особенное значение полимерных композиционных материалов связано как со строительством больших конструкций, так и

© Мальцев М.С., Свистков А.Л., Терпугов В.Н., Комар Л.А., 2016 г.

элементов спутников (например, передающих антенн) непосредственно в космическом пространстве. Потребность в разработке соответствующей технологии возникает, когда требуется сочетать большие размеры готового изделия с малыми размерами и малым весом в момент транспортировки.

В данной работе рассматриваются особенностиформулировки граничных условий в разрабатываемой нами математической модели. Исследуемым материалом является композит с тканевой основой и полимерным связующим, полученный в результате химической реакции отверждения бифункциональной эпоксидной смолы и шестифункционального триэтилентетраамина. Кинетика отверждения подробно описана в работе [1]. Важным условием математической модели является учет особенностей испарения компонентов материала, который зависит от молекулярной массы компонентов материала.

Будем считать, что испарение молекул компонентов реакционной смеси происходит при условии, когда значение их слагаемого в кинетической энергии, связанного с компонентой скорости, направленной по нормали к поверхности, превысило величину работы, затрачиваемой на преодоление энергетического барьера, необходимого для преодоления границы материала. Если принять, что эта работа пропорциональна массе молекулы m_i, а γ – работа выхода единицы массы, то условие испарения можно записать в виде

$$\frac{m_i v_x^2}{2} > m_i \gamma \quad \text{или} \quad v_x > \sqrt{2\gamma}\,, \tag{1}$$

где v_x – скорость движения молекулы в направлении нормали перпендикулярном плоскости поверхности границы, а m_i – i-ая компонента реакционной смеси.

Плотность распределения компоненты v_x скорости движения молекул массой m_i определяется распределением Гиббса

$$\psi = c_x \exp\left(-\frac{m_i v_x^2}{2 c_B T} \right),$$

где c_B – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура; c_x – нормировочный коэффициент

$$c_x = \left[\int_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{m_i v_x^2}{2 c_B T} \right) dv_x \right]^{-1}.$$

Используя функцию ошибок

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-t^2)\, dt \qquad (2)$$

получаем

$$c_x = \sqrt{\frac{m_i}{2c_B T}}.$$

Обозначим величиной n плотность молекул на границе с пленкой. Тогда за время Δt через поверхность ΔS пройдет количество молекул, равное Δn

$$\Delta n = n\,\Delta S\,\Delta t \int_{\sqrt{2\gamma}}^{\infty} c_x \exp\left(-\frac{m_i v_x^2}{2c_B T}\right) dv_x = n\,\Delta S\,\Delta t \sqrt{\frac{m_i}{2c_B T}} \int_{\sqrt{2\gamma}}^{\infty} \exp\left(-\frac{m_i v_x^2}{2c_B T}\right) dv_x .$$

Перепишем последнее выражение для Δn с использованием новой переменной ξ

$$\Delta n = n\,\Delta S\,\Delta t \int_{\sqrt{\frac{\gamma m_i}{c_B T}}}^{\infty} \exp(-\xi^2)\, d\xi ,$$

где $\xi = \sqrt{\frac{m_i}{2c_B T}} v_x$. Используя переход к новой переменной ξ, перепишем условие испарения (1) в новом виде

$$\xi > \sqrt{\frac{m_i \gamma}{c_B T}}.$$

Используя функцию ошибок (2), получим новое выражение для $\Delta n = D\nabla n\,\Delta S\,\Delta t$, в котором поток $D\nabla n$ равен

$$D\nabla n = n\frac{\sqrt{\pi}}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{m_i \gamma}{c_B T}}\right). \qquad (3)$$

Равенство (3) описывает граничное условие диффузионного процесса при испарении летучей компоненты в процессе химической реакции полимеризации эпоксидной смолы.

Разрабатываемая нами модель, включая сформулированное выше граничное условие для учета процесса испарения в открытый космос диффундирующих компонентов, позволяет рассматривать одновременно процессы кинетики химической реакции и испарения компонентов. Работа осуществлена при финансовой поддержке РФФИ по проектам №16-48-590844 р_а и №15-01-07946 А.

Библиографический список

1. *Кондюрин А.В., Комар Л.А., Свистков А.Л.* Моделирование кинетики реакции отверждения композиционного материала на основе эпоксидного связующего // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2010. – Т. 16, № 4. – С. 597-611

HARDENER MOLECULES VAPORISATION IN EPOXY POLYMERIZATION REACTION

Maltcev M.S., Svistkov A.L., Terpugov V.N.

[1]PermStateUniversity, st. Bukireva, 15, Perm,Russia, 614990, MaltcevMS@gmail.com

Komar L.A.

[2]Institute of Continuous Media Mechanics,Academician Korolev Street, 1, Perm,Russia, 614000, A.Svistkov@yandex.ru

Epoxy based polymer materials have a wide appliance in industry due to their unique properties. This paper considers epoxy curing reaction aspects to building constructions in deep space. Technology's unique feature is thatthese objects are exposed to high vacuum effort, to highly-energetic charged particles flow, to atomic oxygen cover flow and to extreme temperature drop from -150 to $+150°C$ .Our mathematical model unique feature is based first on special selection of boundary conditions for evaporating to space molecules of material. Secondly, considering molecular mass distribution of components of cold-setting mixture.Exploring material is cloth base composite with polymer connectorreceived from chemical reaction of bifunctional epoxy polymerization and 6-functional tricoethylene tetraamines.This model allows to consider chemical reaction kinetics and components evaporation processes taking to account their molecular masses.

Key words: epoxies, curing reaction, components evaporation, deep space

УДК 532.5

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАПОРНОЙ И СЕПАРАЦИОННОЙ ХАРАКТЕРИСТИК ПОГРУЖНЫХ ВИХРЕВЫХ ГАЗОСЕПАРАТОРОВ

Мусинский Артем Николаевич, Пещеренко Сергей Николаевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614000, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д 29, musinskij.an@novomet.ru

Показано, что гидродинамические характеристики вихревых газосепараторов немонотонно зависят от длины вихревой камеры. Предложено объяснение этой зависимости. Установлено, что наличие вихревой камеры улучшает сепарацию и увеличивает напор газосепаратора. Получено доказательство существования оптимальной длины вихревой камеры.

Ключевые слова: вихревой газосепаратор, вихревой эффект, газожидкостная смесь, коэффициент сепарации.

Повышение эффективности работы электроцентробежного насоса на смеси жидкости и попутного газа достигается комплектацией их центробежными газосепараторами, [1]. Однако, добиться эффективного отделения газа центробежными газосепараторами при высоких подачах (например, более 500 $м^3$/сут,$Re>5 \cdot 10^4$ для установок 5А габарита) не удается, так как при увеличении подачи время нахождения газожидкостной смеси в газосепараторе, а, следовательно, и время сепарации уменьшается. Для увеличения времени сепарации, казалось бы, можно увеличить длину газосепаратора, но это не так - происходит срыв струйного течения, появляются вихри в проточных каналах, и сепарация ухудшается. Кроме того, увеличение длины газосепаратора приводит и к увеличению времени воздействия на него абразивных частиц, т.е. к гидроабразивному разрушению.

Для решения второй проблемы – гидроабразивного разрушения было предложено [2,3] часть длины сепарационного узла центробежного газосепаратора заменить вихревой камерой, где вращение жидкости продолжится по инерции. Проводились исследования о фазоразделении газожидкостного потока в вихревой трубе (аналог вихревой камеры)[4,5]. Однако задача о влиянии длины вихревой камеры на напор и сепарационные характеристики центробежных газосепараторов не была решена.

Целью данной работы является экспериментальное изучение зависимости напорной характеристики и коэффициента сепарации устройства от длины вихревой камеры.

Исследования проводились на газожидкостном стенде. В качестве флюида, имитирующего пластовую жидкость, использовалась вода с добавлением поверхностно активных веществ (ПАВ). На рис. 1 представлена принципиальная схема испытательного стенда. Испытания приближены к скважинным условиям и реализуются самые тяжелые условия для газосепаратора. Жидкость в систему подавал бустерный насос, газ – компрессор, которые смешивались диспергатором, формировалась мелкодисперсная газажидкостная смесь (ГЖС). Потоки газа и жидкости измеряли до перемешивания, что существенно повышало точность измерений. ГЖС поступала в газосепаратор, установленный вертикально внутри модели обсадной колонны. По системе трубопроводов выход газосепаратора соединялся с насосной секцией, также как и в скважинных условиях. Выкидные отверстия для газа, выполненные в корпусе газосепаратора, были соединены с мерным баком, в

© Мусинский А.Н., Пещеренко С.Н., 2016 г.

который поступал отсепарированный газ и часть жидкости. Объем отсепарированного газа измерялся с помощью газового расходомера, установленного на выходе из мерного бака. По разнице потоков газа на входе в диспергатор и на выходе из мерного бака определяется остаточный объем газа, поступающего в насосную секцию после газосепаратора. Часть газа, прошедшая вместе с рабочей жидкостью в насосную секцию, окончательно отделялась от жидкости в полочном сепараторе после насосной секции.

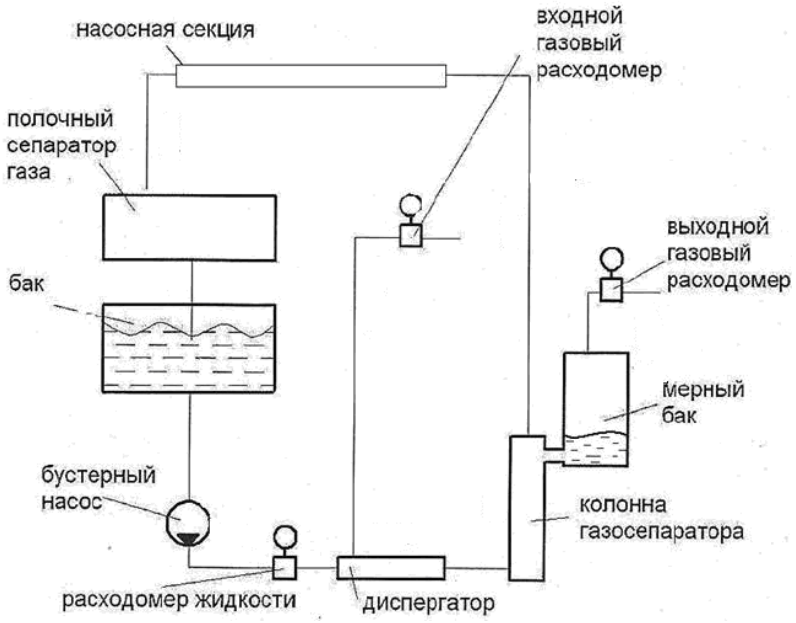


Рис 1. Схема стенда для измерения сепарационных характеристик газосепараторов

В качестве испытательного образца был взят газосепаратор 5А габарита, внутренний диаметр которого равен 103 мм. Закрутка потока осуществлялась с помощью напорного шнека. ГЖС поступала на прием газосепаратора под постоянным давлением в 1 атм.

В ходе эксперимента измерялись следующие данные, используемые для получения рабочих характеристик газосепараторов: $Q_{ж}$– объемная подача жидкости, q_1 – объемная подача газа, подаваемая в систему, P_1 – давление на входе в газосепаратор, P_2 – давление на выходе газосепаратора, q_2 – объемная подача газа на выходе из резервуара, собирающего сброшенный из выкидных отверстий газосепаратора газ, V – объем жидкости в баке, связанный с затрубным пространством, t – время работы газосепаратора, пока затрубье соединено с резервуаром.

По измеренным величинам рассчитывается объемная концентрация газа в смеси перед входом в газосепаратор $\beta_{вх}$:

$$\beta_{вх} = \frac{q_1}{q_1 + Q_{ж}}$$

и остаточная объемная концентрация газа в смеси после газосепаратора $\beta_{ост}$:

$$\beta_{ост} = \frac{q_1 - q_2}{(q_1 - q_2) + \left(Q_{ж} - \frac{V}{t}\right)}$$

Затем вычисляется коэффициент сепарации K

$$K = \frac{\beta_{вх} - \beta_{ост}}{\beta_{вх} - \beta_{вх} \times \beta_{ост}}$$

Напор, создаваемый газосепаратором, определяется как разница давлений на выходе и входе.

$$H = P_2 - P_1$$

Были проведены экспериментальные исследования вихревых газосепараторов с вращающимся завихрителем и вихревыми камерами разной длины: 0, 50, 95, 120 и 150 мм. Значение длины вихревой камеры 0 мм. соответствует конструкции центробежного газосепаратора.

На рис.2. представлена схема вихревого газосепаратора.

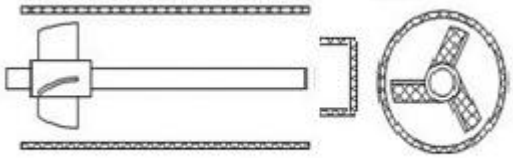


Рис. 2. Схема сепарационного узла вихревого газосепаратора

На рис. 3 приведена зависимость напора газосепаратора от подачи. Видно, что напор немонотонно зависит от длины L вихревой камеры. При увеличении L от 0 до 50 мм. напор увеличивается, это связано с более плавным переходом, созданным вихревой камерой, а дальнейшее увеличение длины L приводит к дополнительному трению о стенки газосепаратора, а, следовательно, и к сопротивлению, как видно на рис. 3 напор падает с увеличением L.

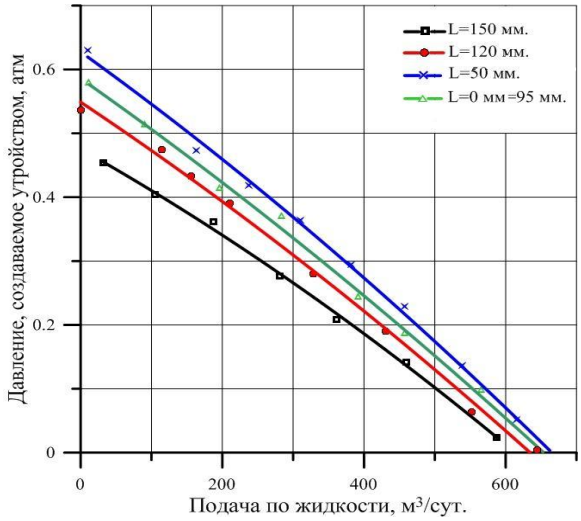


Рис 3. Напорно-расходная характеристика газосепаратора с различной длиной (L) вихревой камеры.

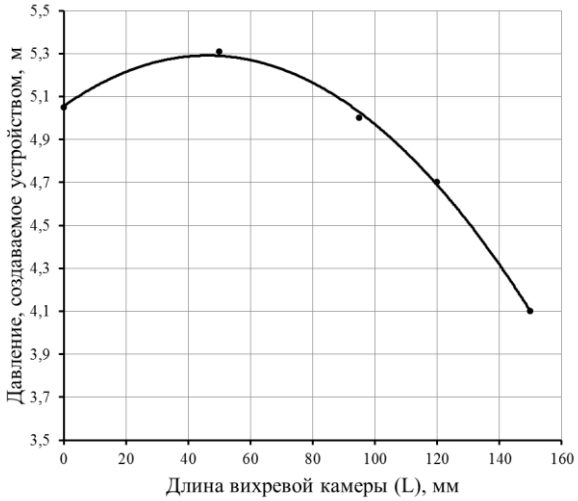


Рис 4. Зависимость давления, создаваемого устройствомот длины вихревой камеры (L) при подаче 100 м^3/сут.

Зависимость давления, создаваемого устройством от длины вихревой камеры, представлена на рис. 4. Видно, что увеличение длины вихревой камеры, которое происходит сразу после того, как смесь преодолевает шнек, способствует снижению потерь давления газосепаратора. Это объясняет высокие значения давления газосепаратора с длиной вихревой камеры (L=50). В то же время, при дальнейшем увеличении длины вихревой камеры происходит создание дополнительных сопротивлений, что и приводит к дальнейшему падению давления.

На рис. 5 показана зависимость коэффициента сепарации от длины вихревой камеры. Видно, что эта зависимость также немонотонная: коэффициент сепарации увеличивался при увеличении L, но после достижения L=120 мм. коэффициент сепарации падает. То есть существует такаяL, при котором коэффициент сепарации максимальный.

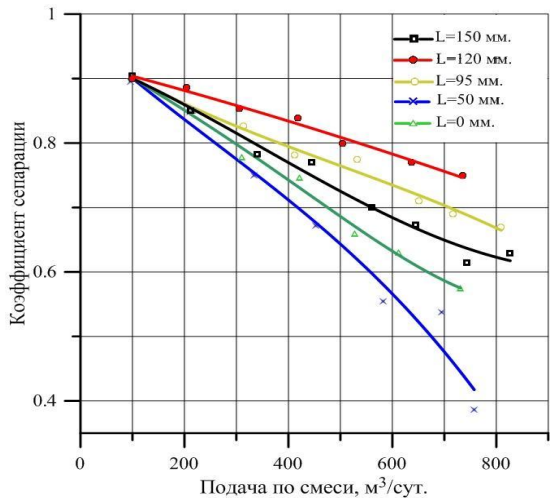


Рис. 5. Зависимость коэффициента сепарации от длины вихревой камеры при $\beta_{вх}$=50%

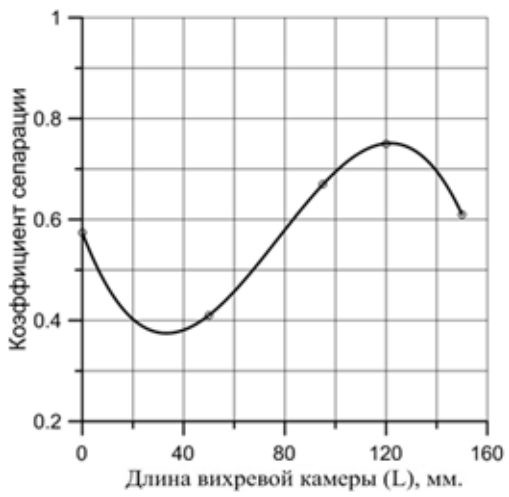


Рис. 6. Зависимость коэффициента сепарации от длины вихревой камеры при подаче по смеси 750 м^3/сут.

Немонотонная зависимость коэффициента сепарации от длины вихревой камеры (Рис. 6) объясняется следующим образом: по мере увеличения L происходит ослабление поля центробежных сил, и слои жидкости с периферии начинают нарушать струйное течение ($Re > 5 \cdot 10^4$ турбулентный режим), попадая в приосевую зону, где находится газ. Часть жидкости уже будет уходить не в насос, а в затрубное пространство вместе с отсепарированным газом, ипоток жидкости в насос ($Q_ж$) будет уменьшаться. А объемная концентрация газа, поступающего в насос ($\beta_{ост}$)возрастать. Увеличение объемной концентрации газа, поступающей в насос, приводит к снижению коэффициента сепарации (K).

Выводы

1. Серия экспериментов подтвердила улучшение коэффициента сепарации газосепараторов, в конструкции которых предусмотрена вихревая камера.
2. Показана немонотонная зависимость влияния длины вихревой камеры на коэффициент сепарации и давление, создаваемое газосепаратором с вращающимся шнеком.
3. У вихревых газосепараторов есть оптимальная длина вихревой камеры, при которой коэффициент сепарации и создаваемый напор будут наивысшими (120 и 40 мм, соответственно).

Библиографический список

1. *Агеев Ш.Р., Григорян Е.Е., Макиенко Г.П.* Российские установки лопастных насосов для добычи нефти и их применение. Энциклопедический справочник. Пермь. ООО «Пресс-мастер», 2007. - 645 с
2. Патент РФ 153249 «Скважинный вихревой газосепаратор», авторы: *Мусинский А.Н., Пещеренко С.Н., Пещеренко М.П.*
3. Патент РФ 2547854«Скважинный вихревой газосепаратор (варианты)», авторы: *Мусинский А.Н., Пещеренко С.Н., Пещеренко М.П.*
4. *Целищев А.В., Ахметов Ю.М.* Эффект фазоразделения газожидкостного потока в камере вихревой трубы Уфа: Вестник УГАТУ Машиностроение, 2013 Т. 17, №3 (56) С.87-94.

5. *АхмеёЮ.М., Целищев А.В., Жернаков В.С.* Исследование процесса сепарации газожидкостного потока в вихревой трубе Уфа: Вестник УГАТУ гидравлические машины гидропневмоагрегаты, 2011 Т. 15, №4 (44) С.120-126.

INVESTIGATIONPRESSUREANDSEPARATIONCHARACTERISTICSSUBMERSBLEV ORTEXGASSEPARATOR

Musinskiy Artem N.,Peshcherenko Sergey N.

State National Research Politechnical University of Perm, Komsomolsky Av. 29, Perm,Russia, 614000, musinskij.an@novomet.ru

It has been shownthat the hydrodynamiccharacteristics of vortexseparatorswitha rotating screwmonotonicallydependent on the lengthof the vortex chamber. An explanationof this dependence. Found that the presenceof the vortex chamberandimproves theseparationpressureincreasesthe gas separator. Obtain evidence ofthe existence ofthe optimal lengthof the vortex chamber.

Key words: gas separatorvortex, vortex effect, gas-liquid mixture, the separation coefficient.

УДК 531, 519.6

ПОСТРОЕНИЕ ЛИНИЙ ТОКА ЦИРКУЛЯЦИИ ВОДЫ В ОЗЕРЕ

Панкратов Илья Алексеевич

Саратовский национальный исследовательский государственный университет, 410012, Россия, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, pankratovia@info.sgu.ru

В статье рассмотрена задача о циркуляции воды в озере под действием ветра. Для описания циркуляции жидкости применена упрощённая модель (в линеаризованных уравнениях количества движения отброшены инерционные члены, уравнение неразрывности является стационарным). Задача сведена к уравнению Пуассона относительно функции тока.Предложен способ построения приближённого решения в виде линейной комбинации тригонометрических функций. Методом частичной дискретизации решение указанного уравнения в частных производных сведено к отысканию решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений, которое было найдено аналитически. Рассмотрены различные виды граничных условий (озеро, со всех сторон окружённое сушей; учтён поток воды от втекающей в озеро реки). Приведен пример численного решения задачи, построены линии тока для случая, когда учитывается поток от реки и ветровая нагрузка.

Ключевые слова: метод Галёркина, линия тока, ветровая нагрузка, аппроксимация.

1. Постановка задачи

Для расчёта течений в озереможет быть применена упрощенная модель с целью начальной оценки циркуляции [1]. Такие течения описываются линеаризованными уравнениями, получающимися из уравнений количества движения, если в них пренебречь инерционными членами, т.е.

$$-fq_y + \rho g h\frac{\partial \eta}{\partial x} + \left(\tau_x\big|_s - \tau_x\big|_b\right) = 0, \quad fq_x + \rho g h\frac{\partial \eta}{\partial y} + \left(\tau_y\big|_s - \tau_y\big|_b\right) = 0; \tag{1}$$

и слагаемыми, зависящими от времени, в уравнении неразрывности: $\partial q_x / \partial x + \partial q_y / \partial y = 0$.

Здесь f – параметр Кориолиса; q_x и q_y – компоненты средних значений массового расхода; ρ – плотность жидкости; h – расстояние от оси x до дна, а $\eta << h$ – возвышение свободной поверхности; $\tau_x\big|_s$, $\tau_y\big|_s$ – составляющие внутреннего напряжения трения на поверхности, а $\tau_x\big|_b$, $\tau_y\big|_b$ – на дне.

Величины $\tau\big|_s$ в уравнениях (1) обусловлены ветровыми напряжениями. Пусть составляющие напряжения трения на дне прямо пропорциональны компонентам средних значений массового расхода: $\tau_x\big|_b = \gamma q_x$, $\tau_y\big|_b = \gamma q_y$.

© Панкратов И.А., 2016 г.

Предположим также, что наклон дна мал, продифференцируем первое уравнение (1) по y, второе – по x и вычтем одно из другого:

$$\frac{\partial \tau_x\big|_s}{\partial y} - \frac{\partial \tau_y\big|_s}{\partial x} = \gamma\left(\frac{\partial q_x}{\partial y} - \frac{\partial q_y}{\partial x}\right) \tag{2}$$

Введем функцию тока ψ: $q_x = \partial\psi/\partial y$, $q_y = -\partial\psi/\partial x$. Тогда из (2) для определения ψ получим уравнение Пуассона

$$W = \gamma\nabla^2\psi. \tag{3}$$

Здесь $W = \partial\tau_x\big|_s/\partial y - \partial\tau_y\big|_s/\partial x$ – величина, зависящая от ветрового воздействия; γ – коэффициент ветрового напряжения.

Граничные условия для этого уравнения имеют вид:

$$\partial\psi/\partial n = 0 \text{ на береговых границах;} \tag{4}$$

$$\psi = \overline{\psi} \text{ на входе в водоём.} \tag{5}$$

2. Воздействие ветра на озеро.

Рассмотрим озеро $\Omega = \{(x,y) \mid 0 \le x \le 1, 0 \le y \le 1\}$, которое подвержено воздействию ветра так, что $W = Ax$, $A = \text{const}$. Пусть граничные условия (4), (5) для уравнения (3) имеют вид

$$\text{при } x = 0 \text{ и } x = 1 \ \frac{\partial\psi}{\partial x} = 0; \tag{6}$$

$$\begin{gathered}\text{при } y = 0 \ \psi = 0; \\ \text{при } y = 1 \ \psi = 1 \text{(учтён поток от втекающей в озеро реки).}\end{gathered} \tag{7}$$

Применим метод частичной дискретизации [2]. Будем искать решение $\psi \approx \tilde{\psi}$ уравнения (3) в виде линейной комбинации базисных функций $\tilde{\psi} = y + \sum_{m=1}^{M} a_m(y)N_m(x)$, где $N_m = \cos(\pi \cdot m \cdot x)$. При этом условия (6) удовлетворяются за счёт базисных функций.

Подставляя $\tilde{\psi}$ в (3) и выбирая весовые функции по методу Галёркина (весовые функции совпадают с базисными), получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) относительно функций $a_m(y)$ ($l = \overline{1,M}$):

$$\sum_{m=1}^{M}\int_0^1\left[-a_m(\pi m)^2 + \frac{d^2a_m}{dy^2}\right]\cos(\pi mx)\cos(\pi lx)dx = \int_0^1 (A/\gamma)x\cos(\pi lx)dx. \tag{8}$$

Вычисляя интегралы, входящие в (8), с учётом ортогональности системы базисных функций на отрезке $[0;1]$, имеем следующую систему ОДУ ($m = \overline{1,M}$):

$$\frac{d^2 a_m}{dy^2} - a_m(\pi m)^2 = \frac{2A}{\gamma \pi m}\left[1+(-1)^{m+1}\right] \tag{9}$$

Граничные условия для системы (9) имеют вид

$$a_m(0) = a_m(1) = 0. \tag{10}$$

Общее решение указанной системы есть:

$$a_m = C_m^1 e^{\pi m y} + C_m^2 e^{-\pi m y} - \frac{2A}{\gamma(\pi m)^3}\left[1+(-1)^{m+1}\right] \tag{11}$$

Отметим, что граничные условия (7) удовлетворяются точно за счёт первого слагаемого в $\tilde{\psi}$, а произвольные постоянные интегрирования C_m^1, C_m^2 легко находятся из (10).

3. Пример численного решения задачи.

Для численного решения задачи была составлена программа с помощью математического пакета Scilab [3].На рис. 1. приведены результаты решения задачи о циркуляции воды в озере с учётом потока от втекающей в озеро реки и ветровой нагрузки при $A/\gamma = 3$, $M = 5$. Показаны линии тока для $\psi = 0.1, \psi = 0.3, \ldots, \psi = 0.9$ (снизу вверх).

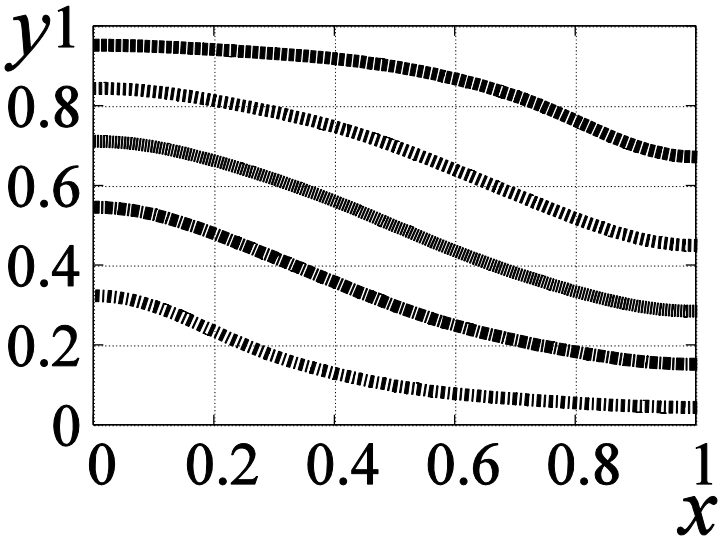


Рис. 1.Циркуляция воды в озере (учтены поток от реки и ветровая нагрузка)

В отличие от работ [4-7] при применении метода частичной дискретизации приближённое решение задачи задаётся аналитическими формулами и не требуется численно решать систему алгебраических уравнений. При увеличении количества базисных функций последнее слагаемое в (11)и произвольные постоянные C_m^1, C_m^2 быстро стремятся к нулю. Брать $M > 5$ нецелесообразно, так как приближённое решение уже практически не изменяется.

В дальнейшем предполагается применить рассмотренный выше метод для случая, когда внутри озера находится остров.

Библиографический список

1. *Коннор Дж., Бреббиа К.* Метод конечных элементов в механике жидкости. Л.: Судостроение, 1979.
2. *Зенкевич О., Морган К.* Конечные элементы и аппроксимация. М.: Мир, 1986.
3. *Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В., Рудченко О.А.* Scilab: Решение инженерных и математических задач. М.: ALTLinux; Бином. Лаборатория знаний, 2008.
4. *Маркелова О.И., Панкратов И.А.* Расчет циркуляции воды в озере // Математика. Механика.2014. № 16. С. 114-117.
5. *Панкратов И.А., Рымчук Д.С.* Расчёт течений мелкой воды // Математика. Механика.2014. № 16. С. 120-124.
6. *Ильясова Т.А., Панкратов И.А*. Математическое моделирование циркуляции воды в озере // Математика. Механика.2015. № 17. С. 101-104.
7. *Панкратов И.А.* Изчисляване на линията на тока по време на циркулация, предизвикана от ветрове [Электронный ресурс] // Парадигма: електрон. научн. журн.2016. № 1. Т. 1. С. 115-119. URL:http://paradigma.science/publics/index.php/paradigma/article/view/96/99(дата обращения: 15.03.2016).

CONSTRUCTION OF STREAMLINES OF WATER CIRCULATION IN THE LAKE

Pankratov Ilia A.

National ResearchSaratov StateUniversity, st. Astrakhanskaya,83, Saratov,Russia, 410012, pankratovia@info.sgu.ru

The article considers the problem of water circulation in the lake caused by the wind. Simplified model was used to describe the fluid circulation (we pushed out inertial terms from linearized equations of momentum, the continuity equation is stationary). The problem is reduced to the Poisson equation for the stream function. A method for constructing an approximate solution in the form of a linear combination of trigonometric functions is proposed. By the partial discretizationmethodthis partial differential equation was reduced to a system of ordinary differential equations, which was solved analytically. Various types of boundary conditions were considered (for example lake, surrounded by land on all sides; also we have taken into account the flow of water from the river flowing into the lake). The example of numerical solution of the problem is given; streamlines were constructed for the case, when we take into account the flow of the river and the wind stress.

Key words: Galerkin method, streamline, wind stress, approximation.

УДК 534.83:629.7.03

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ

Стряпунина Алена Александровна

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

Степина Елена Витальевна

ОАО «Авиадвигатель», 614010, Россия, г. Пермь, ул. Комсомольский проспект, 93, StepinaEV@bk.ru

В настоящее время, все большее значение приобретает необходимость снижения шума авиационного двигателя на местности. Для снижения шума двигателя используют звукопоглощающие конструкции (ЗПК). Геометрические параметры подобной конструкции влияют на то насколько будет снижен шум двигателя, поэтому подбор параметров конструкции и есть основная задача. Поставленную задачу можно свести к оптимизационной задачи по подбору параметров звукопоглощающей конструкции. И в данном случае необходима математическая модель звукопоглощающей конструкции, которая связывает геометрию и акустические характеристики. В данной работе рассматриваются математическая модель звукопоглощающей конструкции с волокнистым наполнителем (минеральная вата) и модель резонансной конструкции с тканевой вставкой. Представлены результаты экспериментальных исследований данных конструкций и результаты расчетов по выбранным математическим моделям.

Ключевые слова: шумоглушение, звукопоглощающая конструкция, коэффициент звукопоглощения, акустический импеданс, импедансная труба.

Основными характеристиками ЗПК являются коэффициент звукопоглощения и акустический импеданс. Коэффициент звукопоглощения несет в себе смысловую нагрузку качества снижения шума.Акустический импедансесть отношение акустического давления и акустической скорости на границе, акустические свойства которой он характеризует.

Экспериментальное измерение импеданса

Акустический импеданс можно определить с помощью экспериментальной установки - Импедансная труба. На рис. 1 показан принцип ее действия [1,2]. Импедансная труба состоит из цилиндрического канала с толстыми стенками, динамика, секции для удержания образца и двух измерительных микрофонов. На одном конце трубы плотно закрепляют исследуемый образец ЗПК,на другом конце динамик. Динамиком возбуждаются звуковые колебания, например, «белый шум». Диаметр трубы выбирается достаточно малым, чтобы в заданном

©Стряпунина А.А., Степина Е.В., 2016 г.

диапазоне частот в ней распространялась плоская звуковая волна. Обработка результатов эксперимента происходит с помощью метода передаточной функции, который является стандартизированным [3]. Данная установка была создана для исследований ЗПК.

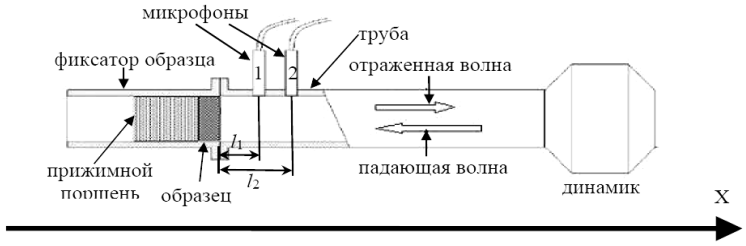


Рис. 1. Схема импедансной трубы

Акустический импеданс несет информацию о физических характеристиках звукопоглощающей конструкции и включает в себя сложные эффекты, такие как вязкость, нелинейность, влияние присоединенной массы, касательный поток и другие. Знание акустического импеданса позволит подбирать эффективные параметры звукопоглощающей конструкции. Акустическим параметром, характеризующим поглощение звука конструкцией, является коэффициент звукопоглощения, который показывает отношение энергии поглощенной волны к энергии падающей волны в зависимости от частоты. Данный параметр принимает значения $\alpha \in [0,1]$, при $\alpha = 0$ нет звукопоглощения, при $\alpha = 1$ звук полностью поглощается. Обе эти характеристики взаимосвязаны, причем

$$\alpha = 1 - \left| \frac{Z_э - 1}{Z_э + 1} \right|^2$$

Математическая модель звукопоглощающей конструкции с волокнистым наполнителем

Для исследований ЗПК с волокнистым наполнителем рассматривался вентиляционный шумоглушитель марки CSA. Глушитель представляет собой цилиндрическую трехслойную конструкцию: металлический перфорированный лист, минеральная вата и металлическая подложка. Данный вид ЗПК используется в системах вентиляции несколько десятилетий,и для их производства существует стандарт. Кроме того, существует математическая модель звукопоглощающих волокнистых материалов, которая вошла в рекомендации по расчету и проектированию звукопоглощающих облицовок [4]. В данной работе рассматривается математическая модель из выбранного источника, исследуется ее достоверность и практичность.Акустический импеданс всей конструкции вычисляется как сумма импедансов отдельных элементов:

$$Z = Z_{слоя} + Z_{ткани} + Z_{перфор}$$

Акустический импеданс волокнистого материала включает в себя характеристики волокон. Импеданс ткани – полуэмпирическая модель. Импеданс перфорированной пластины определяется по геометрии пластины. Подробную информацию можно найти в источниках [4,5].

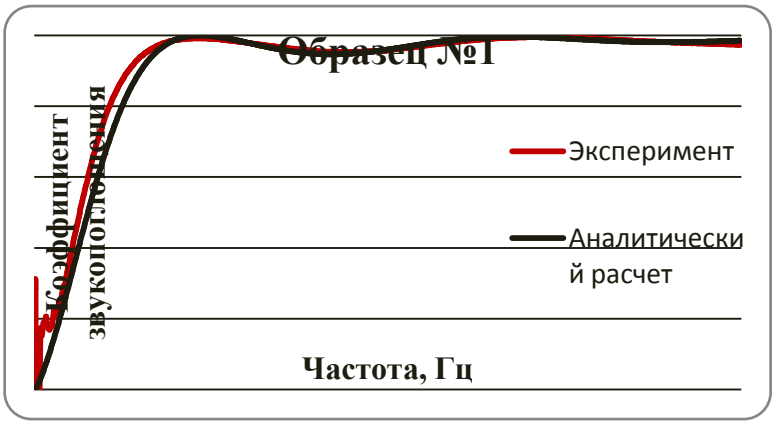
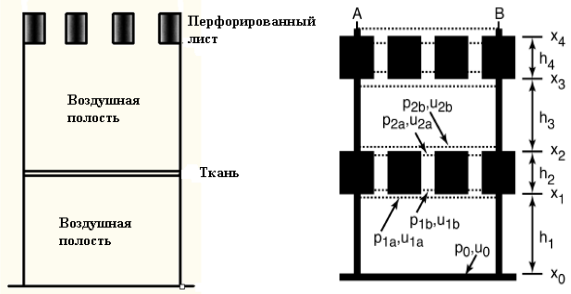


График 1. Коэффициент звукопоглощения минеральной ваты. Экспериментальный и аналитический расчет.

На графике 1 представлены результаты: аналитического расчета коэффициента звукопоглощения и эксперимента, проведенного с помощью импедансной трубы (рис. 1). Можно заметить, что математическая модель хорошо сходится с экспериментом.

Математическая модель резонатора с тканевой вставкой

ЗПК представляет собой ячеистую структуру, в основании которой жесткая стенка, сверху расположена перфорированная пластина, внутри каждой ячейки вклеена ткань (рис. 2.а).



а) б)

Рис. 2.а) с тканью, б) с префорированной пластиной

Для разработки математической модели рассматривалась статья [6]. В статье модель отдельной сотовой ячейки включает в себя две воздушные полости и две перфорированных пластины (рис. 2.б). Для собственных расчетов перфорированная пластина, расположенная между полостями, заменялась ситовой тканью.

Суть метода в том, что начиная от жесткой стенки, последовательно для каждого последующего слоя величины давления и скорости определяются с помощью их значений на предыдущем слое и матрицы преобразования T:

$$\begin{pmatrix} p_{n+1} \\ u_{n+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_n \\ u_n \end{pmatrix}$$

Параметры матрицы преобразования зависят от геометрии ЗПК и от структурных характеристик ткани, подробное изложение можно найти в источнике [6]. За начало отсчета принимается жесткая стенка x_0, где акустическая скорость и давление нормированы и равны: $u_0 = 0$ $p_0 = 1$. Тогда нормализованный импеданс примет вид: $Z = p_n / u_n$.

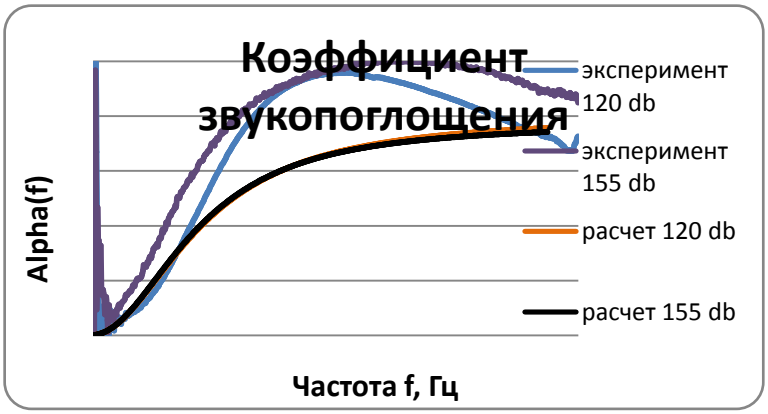


График 2. Коэффициент звукопоглощения. Экспериментальный и аналитический расчет.

На графике 2 представлены результаты эксперимента и аналитического расчета для уровней звука 120 дБ и 155 дБ. Можно заметить, что математическая модель плохо описывает эксперимент, причем нет чувствительности к уровню звукового давления, поэтому необходимо подробное исследование и доработка модели.

Библиографический список

1. *Иголкин А.А., Родионов Л.В., Шахматов Е.В., Кох А.И.*, Звукопоглощение. Методы измерений.: Электр.уч.пособие. СГАУ имени ак. С.П.Королева, 2010 г.Руководство по измерению и расчету акустических параметров волокнистых звукопоглощающих материалов/НИИ строит.физики – М.: Стройиздат, 1979 г.-23 с.
2. *J.Y. Chung, D.A. Blaser*, Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. I. Theory // Journal of acoustical society of America, Vol. 68, № 3, 1980.Рекомендациипорасчетуипроектированиюзвукопоглощающихоблицовок/НИИстроит.физики – М.: Стройиздат, 1984 г.
3. *Е.Я. Юдин, Л. А. Борисов, И.В.Горенштейн*, Борьба с шумом на производстве: Справочник/; Под общ.ред.Е.Я. Юдина – М.:Машиностроение,1985–400с.

4. *M. G. Jones, B.M.Howerton* NASA Langley Research Center, Hampton, VA 23681; *E. Ayle* Hexcel Corporation, Casa Grande, AZ 85130, Evaluation of parallel-element, variable-impedance, broadband acoustic liner concepts.

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF SOUND ABSORBING STRUCTURE

Stryapunina Alyona A.

State National Research University of Perm, st. Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990, St.Alyon@mail.ru

Stepina Elena V.

JSC AVID, Komsomolsky Av. 93, Perm, Russia, 614010, StepinaEV@bk.ru

Today noise reduction engine aircraft on the ground is important. The resonant type sound absorbing structures are using to reduce engine noise. The geometrical parameters of structures affect how much engine noise will be reduced, therefore the selection of the design parameters is the main problem. The mathematical model of the sound absorbing structure, which connects the geometry and acoustic properties, is necessary. In this paper a mathematical model of sound absorbing structure with fibrous filler and a model of a resonant structure with a fabric insert are examined. The results of experimental studies and of calculations of these structures are represented.

Key words:noise attenuation, sound absorbing structures,absorption coefficient, impedance, impedance tube.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ

УДК 539.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ ГЦК-МОНОКРИСТАЛЛА: ОПИСАНИЕ ЭФФЕКТА БАУШИНГЕРА[1]

Лоевец Дмитрий Андреевич, Волегов Павел Сергеевич

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

При производстве материалов необходимо уметь управлять их свойствами для улучшения прочностных характеристик конструкций, изготавливаемых их этих материалов. Одним из известных механизмов, используемых для увеличения предела текучести материала, является циклическое нагружение. В работе рассматривается математическая модель неупругого деформирования монокристаллов с ГЦК решеткой с учетом упрочнения, обусловленного различными механизмами взаимодействия дислокаций. В результате исследования получены кривые упругопластического гистерезиса, проведен анализ напряженно-деформированного состояния монокристалла. В работе также приведены результаты численных экспериментов при моделировании многократных знакопеременных нагружений ГЦК-монокристалла с учетом базового упрочнения и разупрочнения, вызванного более легким скольжением дислокаций, поджатых при предшествующем деформировании на различных препятствиях. Результаты моделирования позволяют говорить о принципиальной возможности описывать эффект Баушингера при моделировании знакопеременного нагружения с использованием предложенной модели.

Ключевые слова: неупругое деформирование, многоуровневые модели, поликристалл, циклическое нагружение, упрочнение, эффект Баушингера.

Современные методы обработки материалов (волочение, прессование, прокатка и др.) сопровождаются интенсивными пластическими деформациями, при которых существенно меняется внутренняя структура материала, причем эти изменения происходят на всех масштабных уровнях: меняется дефектная структура, зеренная структура, эволюционирует сеть микроповреждений и т.д. Часто на этапе предфинишной обработки материала для улучшения его прочностных свойств используют циклическое деформирование, при котором параметры воздействия изменяются по определенному периодическому закону, причем в общем случае такое деформирование может проводиться как пропорционально (по лучевым траекториям в пространстве деформаций), так и непропорционально, по траекториям произвольной формы и кривизны. При этом могут возникать различныеэффекты, к числу наиболее важных из которых относитсяэффект Баушингера. Этот эффект заключается в уменьшении предела текучести после разворота траектории деформирования по сравнению с

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4917.2015.1, РФФИ (грант №14-01-96008 р_урал_а).
© Лоевец Д.А., Волегов П.С., 2016 г.

пределом текучести при деформировании в «прямом» направлении. В свою очередь, эффект Баушингера может оказывать негативное влияние на процесс деформирования, приводить к различному значению предела текучести материала на растяжение и на сжатие, что существенно затрудняет определение границ диапазонов рабочих нагрузок для конструкций, произведенных из такого материала.

Целью работы является математическое моделирование неупругого деформирования монокристалла с учетом эволюции внутренней структуры, моделирование циклического нагружения, а также моделирование и описание эффекта Баушингера. При моделировании используетсяупруговязкопластическая модель деформирования монокристаллического образца, учитывающая эволюцию его внутренней структуры, в первую очередь – дислокационной [1-2].

Законом упрочнения называется выражение, описывающее эволюцию критических касательных напряжений на системах скольжения в процессе деформирования:

$$\dot{\tau}_c^{(i)} = f_1^{(i)}\left(\gamma^{(j)},\, \dot{\gamma}^{(j)}\right) + f_2^{(i)}\left(\gamma^{(j)},\, \dot{\gamma}^{(j)}; \beta_1^{(j)}, \beta_2^{(j)}, \ldots, \beta_m^{(j)}\right),\ i, j = \overline{1,24}, \tag{1}$$

где $\dot{\tau}_c^{(i)}$ – производная критических напряжений по*i*-й системе скольжения, $f_1^{(i)}$ – базовое слагаемое, описывающее взаимодействие одиночных дислокаций («дислокаций леса»), $f_2^{(i)}$ определяет уменьшение критических напряжений при реверсивном движении дислокаций, поджатых на препятствиях при предшествующем деформировании, $\beta_1^{(j)}, \beta_2^{(j)}, \ldots, \beta_m^{(j)}$ – перечень внутренних переменных, характеризующих рассматриваемый эффект.

Базовое слагаемое упрочнения описывается соотношением:

$$f_1^{(k)} = \tau_{c0}^{(k)} \left(\sum_{i=1}^{24} a_j^{(k)} \frac{\left(\gamma^{(j)}\right)^{\psi}}{\sum_{i=1}^{24} \gamma^{(j)}} \left(\dot{\gamma}^{(j)}\right)^{\delta} \right), \dot{\gamma}^{(j)} \neq 0, \tag{2}$$

где $\tau_{c0}^{(k)}$ – начальное критическое напряжение на *k*-ой системе скольжения, ψ и δ – материальные параметры, $a_j^{(k)}$ – модули упрочнения [3].

Для описания эффекта Баушингера используется выражение:

$$f_2^{(k)} = -\zeta \tau_{c0}^{(k)} \left(\sum_{i=1}^{24} \left(\gamma^{(j+12)} + \gamma_0 \right) \left(\dot{\gamma}^{(j)} \right) \right), \tag{3}$$

где ζ – материальный параметр, γ_0 – параметр, характеризующий начальную плотность поджатых дислокаций. В этом выражении учитывается уменьшение критических касательных напряжений, обусловленное накоплением на этапе предшествующей деформации дислокаций системами скольжения, имеющими одинаковую плоскость скольжения, но противоположные направления скольжения, на барьерах различного типа.

В результате моделирования неупругого деформирования монокристаллабыли получены зависимости интенсивности напряжений от накопленной интенсивности деформаций; параметры материала соответствуют технически чистой меди. При моделировании циклического деформирования монокристалла реализовано6 циклов одноосного растяжения-сжатия с амплитудой деформаций 1%.

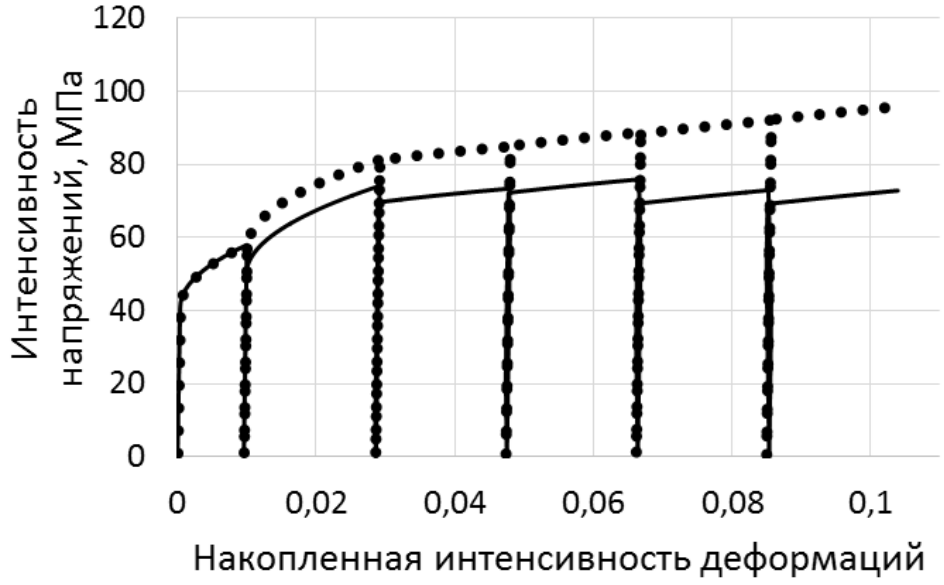


Рис. 1 Зависимость интенсивности напряжений от накопленной интенсивности деформаций при циклическом нагружении монокристалла

На рис. 1 представлены зависимости интенсивности напряжений от накопленной интенсивности деформаций монокристалла: сплошная линия – зависимость с учетом эффекта Баушингера, пунктирная линия – зависимость без учета эффекта Баушингера. Как видно из рис. 1, предел текучести на этапе сжатия меньше, чем при одноосном растяжении. На цикле 6 это уменьшение составляет порядка 5 МПа.

Библиографический список

1. *Трусов П.В., Волегов П.С., Кондратьев Н.С.* Физические теории пластичности: учебное пособие. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – 244 с.
2. *Ашихмин В.Н., Волегов П.С., Трусов П.В.* Конститутивные соотношения с внутренними переменными: общая структура и приложение к текстурообразованию в поликристаллах // Вестник ПНИПУ. Механика. – 2006. – № 14. – С. 11-26.
3. *Волегов П.С., Никитюк А.С., Янц А.Ю.* Геометрия поверхности текучести и законы упрочнения в физических теориях пластичности // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2009. – Т. 17. – С. 25-33.

MATHEMATICAL MODELING OF CYCLIC LOADING FCC SINGLE CRYSTALS: THEDESCRIPTION OF BAUCSHINGER'S EFFECT

Loevets Dmitry A., Volegov Pavel S.

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

In the production of the materials, it is needed to be able to manage its properties to improve the strength characteristics of structures made of these materials. One of known mechanisms used to increase the yield strength of the material is cyclic loading. In this paper, the mathematical model of inelastic deformation of fcc single crystals considering hardening due to different mechanisms of interaction between dislocations. The study of elastic-plastic hysteresis curves was obtained; stress-strain state of the single crystal was analyzed. The paper also presents the results of numerical experiments in the simulation of multiple alternating loading fcc single crystal taking into account hardening and softening, caused by a slight slip dislocations, drawn in at the previous deformation at different obstacles. The simulation results suggest the principle possibility to describe the Baucshinger's effect in alternating loadings using the proposed model.

Key words: inelastic deformation, multilevel models, polycrystalline, cyclic loading, hardening, Baucshinger's effect.

УДК 532.783

ОРИЕНТАЦИОННАЯ ДИНАМИКА ХОЛЕСТЕРИЧЕСКОГО ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА ВО ВРАЩАЮЩЕМСЯ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Мандрыкин Сергей Дмитриевич, Макаров Дмитрий Владимирович

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

В рамках континуальной теории Эриксена-Лесли изучается воздействие вращающегося магнитного поля на ориентационную структуру неограниченного образца холестерического жидкого кристалла. Однородное вращающееся магнитное поле приложено ортогонально оси спиральной структуры холестерического жидкого кристалла. Получено динамическое уравнение, определяющее угол отставания директора от вектора напряженности магнитного поля. Рассмотрен режим стационарного вращения исследуемой жидкокристаллической структуры. Найдены значения критических параметров, при которых происходит раскручивание спиральной ориентационной структуры холестерического жидкого кристалла, т.е. его переход в нематическое состояние. Построена фазовая диаграмма ориентационного перехода холестерик-нематик. Показано, что увеличение угловой скорости вращения магнитного поля приводит куменьшению критической напряженности поляв переходе холестерик-нематик.

Ключевые слова: холестерический жидкий кристалл, вращающееся магнитное поле, переход холестерик-нематик

Как известно, жидкие кристаллы (ЖК) – это вещества, которые обладают свойствами жидкостей (текучесть) и твердых кристаллических тел (анизотропия) [1]. По типу ориентационного упорядочения ЖК делят на нематические, холестерические и смектические. Изучаемые в настоящей работе холестерические жидкие кристаллы (ХЖК) в отсутствие внешних полей имеют спиральную (геликоидальную) ориентационную структуру, шаг которой очень чувствителен к любым воздействиям. Холестерический жидкий кристалл (ХЖК) может быть превращен в нематических жидкий кристалл раскручиванием его спирали внешним магнитным или электрическим полем [2]. В этом случае говорят, что происходит переход холестерик-нематик. Воздействовать на ориентационную структуру жидкого кристалла можно и с помощью течения. Так, в работе [3] теоретически проанализирован переход холестерик-нематик, индуцированный сдвиговым потоком. Комбинированное воздействие сдвигового течения и магнитного поля было изучено в работе [4]. Как было показано Цветковым [5], увлечь ориентационную структуру жидкого кристалла можно вращающимся магнитным полем. Это явление получило название «эффект Цветкова». По этой причине достаточно интересным представляется изучение воздействия

© Мандрыкин С.Д., Макаров Д.В., 2016 г.

вращающегося магнитного поля на спиральную структуру ХЖК и анализ влияния скорости его вращения на порог перехода холестерик-нематик.

Рассмотрим холестерический жидкий кристалл, помещенный во вращающееся магнитное поле (рис. 1). Внешнее поле приложено ортогонально оси его спирали. Динамику ориентационной структуры ХЖК будем описывать в рамках теории, предложенной Эриксеном и Лесли [1].

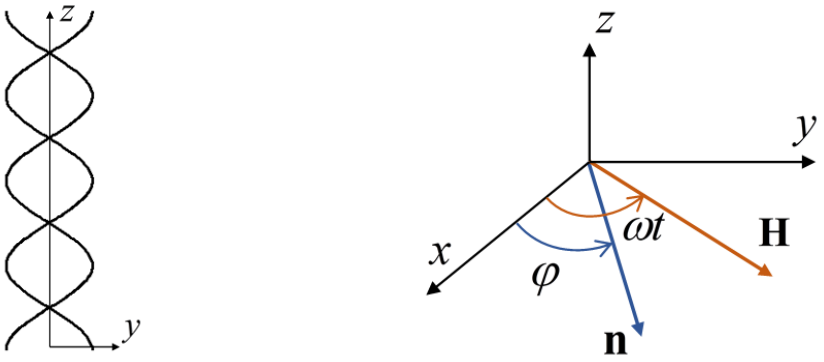


Рис. 1. Ориентация спирали холестерика в магнитном поле

Уравнения движения ХЖК, несжимаемости и движения директора $\mathbf{n}$ имеют вид [1]:

$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \nabla \cdot \overline{\overline{\boldsymbol{\sigma}}}, \quad \operatorname{div} \mathbf{v} = 0, \quad \mathbf{h} = \gamma_1 \mathbf{N} + \gamma_2 \mathbf{n} \cdot \mathbf{A} \tag{1}$$

где ρ и $\mathbf{v}$ – плотность и скорость ХЖК, $\mathbf{n}$ – директор (ед. вектор, задающий направление преимущественной ориентации молекул ХЖК), γ_i – коэффициенты вращательной вязкости, $\mathbf{N} = d\mathbf{n}/dt - \overline{\overline{\boldsymbol{\Omega}}} \cdot \mathbf{n}$ – скорость изменения директора относительно движущегося ХЖК, $\overline{\overline{\mathbf{A}}}$ и $\overline{\overline{\boldsymbol{\Omega}}}$ – симметричная и антисимметричная части тензора градиентов скоростей.

Вектор молекулярного поля $\mathbf{h}$, действующий надиректор $\mathbf{n}$, имеет вид

$$h_i = -\frac{\partial F_V}{\partial n_i} + \nabla_k \frac{\partial F_V}{\partial (\nabla_k n_i)},$$

где объемная плотность свободной энергии F_V содержит упругое и диамагнитное слагаемые:

$$F_d = \frac{K_{11}}{2}(\operatorname{div}\mathbf{n})^2 + \frac{K_{22}}{2}(\mathbf{n} \cdot \operatorname{rot}\mathbf{n} + q_0)^2 + \frac{K_{33}}{2}(\mathbf{n} \times \operatorname{rot}\mathbf{n})^2, \; F_{dia} = -\frac{\chi_a}{2}(\mathbf{n} \cdot \mathbf{H})^2. \tag{2}$$

Здесь K_{ii} – константы ориентационной упругости ХЖК, q_0 – волновое число невозмущенной спиральной структуры ХЖК, χ_a – анизотропия диамагнитной восприимчивости, которую будем считать положительной.

С учетом геометрии задачи поле директора будем искать в следующем виде

$$\mathbf{n} = (\cos\varphi(z,t), \sin\varphi(z,t), 0), \qquad \mathbf{H} = H(\cos\omega t, \sin\omega t, 0), \tag{3}$$

где ω – угловая скорость вращения магнитного поля $\mathbf{H}$.

В режиме стационарного вращения уравнение движения директора примет вид

$$\frac{\partial^2 \delta}{\partial \zeta^2} - \frac{h^2}{2}\sin 2\delta + \frac{\Omega}{2} = 0, \tag{4}$$

Здесь $\delta = \omega t - \varphi$ – угол отклонения директора от поля, $h = H/H_0$ и $\Omega = \omega/\omega_c$ – безразмерные напряженность и угловая скорость вращения магнитного поля. В качестве единицы измерения поля выбрана величина $H_0 = q_0\sqrt{K_{22}/\chi_a}$, а единицы измерения угловой скорости $\omega_c = K_{22}q_0^2/2\gamma_1$. Определим плотность эффективной свободной энергии F_V^{eff}, минимизацией которой можно получить уравнение движения (4), следующим образом

$$\frac{2F_V^{eff}}{\chi_a H_0^2} = \left(\delta' - 1\right)^2 - h^2\cos^2\delta - \Omega\delta. \tag{6}$$

Как видно из уравнения (4), в раскрученной фазе директор запаздывает от поля на угол

$$\delta_c = \frac{1}{2}\arcsin\frac{\Omega}{h^2}. \tag{7}$$

Шаг спирали ХЖК с учетом (4) примет вид

$$P = 2\int_{\delta_c-\pi}^{\delta_c} \frac{d\delta}{\sqrt{k - h^2\cos^2\delta - \Omega\delta}}, \tag{8}$$

где константа интегрирования k находится из условия минимума $\partial F_V^{eff}/\partial k = 0$:

$$\int_{\delta_c-\pi}^{\delta_c} \sqrt{k - h^2\cos^2\delta - \Omega\delta}\, d\delta = \pi. \tag{9}$$

В точке перехода ($P \to \infty$, $d\delta/d\zeta = 0$) с учетом (4), (8) и (9) имеем

$$\int_{\delta_c-\pi}^{\delta_c} \sqrt{h^2\left(\cos^2\delta_c - \cos^2\delta\right) + \Omega\left(\delta_c - \delta\right)}\, d\delta = \pi. \tag{10}$$

Уравнение (10) совместно с условием (7) определяет критические значения поля h_c и угловой скорости Ω_c, при которых раскручивается спираль холестерического жидкого кристалла, то есть происходит переход холестерик-нематик.

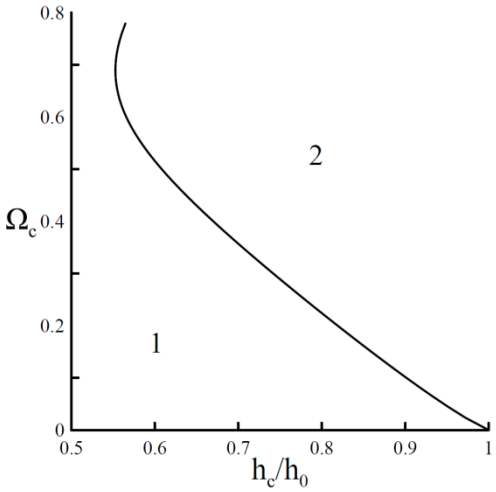


Рис. 2.Ориентационная фазовая диаграмма перехода холестерик-нематик

Результаты численного решения системы уравнений (7), (10) представлены на рис. 2. По горизонтальной оси отложена приведенная напряженность поля h_c / h_0, где $h_0 = \pi / 2$ – поле перехода холестерик-нематик в статическом магнитном поле. Сплошная кривая на рис. 2 определяет границы холестерической (1) и нематической (2) ориентационных фаз. Видно, что с ростом скорости вращения поля порог перехода из холестерической фазы в нематическую понижается.

Библиографическийсписок

1. *Stewart W.* The static and dynamic continuum theory of liquid crystals: a mathematicalintroduction. L.: Taylor & Francis, 2004.
2. *MeyerR. B.* Effects of electric and magnetic fields on the structure of cholesteric liquid crystals // Applied Physics Letters. 1968. Vol. 12. P. 281–282.
3. *Derfel G.* Shear flow induced cholesteric-nematic transition // Mol. Cryst. and LiquidCryst. 1983. Vol. 92. P. 41–47.
4. *Захлевных А.Н., Селиванов А.Н.* Влияние магнитного поля на сдвиговое течение холестерического жидкого кристалла // Вестник Пермского университета. Серия: Физика. 2000. Вып.6. С. 46–49.
5. *Tsvetkov V. N.* Bewegung anisotroper Flussigkeiten im rotierenden Magnetfeld //Acta Physicochimica URSS. 1939. Vol. 10. P. 555–578.

ORIENTATIONAL DYNAMICS OF CHOLESTERIC LIQUID CRYSTAL IN ROTATING MAGNETIC FIELD

Mandrykin Sergei D., Makarov Dmitriy V.

Perm State University, Bukirev St. 15, 614990, Perm, sergey.mandrykin@gmail.com, dmakarov@psu.ru

In the framework of Ericksen-Leslie continuum theory we investigate the influence of rotating magnetic field on the orientation structure of unbounded sample of cholesteric liquid crystal. Uniform rotating magnetic field is applied orthogonally to the axis of the helical structure of the cholesteric liquid crystal. We obtain dynamic equation that determines the retardation of thedirector from the magnetic field. The regime of stationary rotation of liquid crystal structure is considered. We determine critical parameters, which correspond to unwinding of the spiral orientational structure of a cholesteric liquid crystal, i.e. its transition into a nematic state. The phase diagram of a cholesteric-nematictransition is plotted. We show that increase of angular velocity of a magnetic field leads to decrease of critical field strength in cholesteric-nematic transition.

Keywords: cholesteric liquid crystal, rotating magnetic field, cholesteric-nematic transition

УДК 539.3

ДВУХУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ НЕУПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ОЦК-ПОЛИКРИСТАЛЛА С УЧЕТОМ ОБРАТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ И ТЕРМОАКТИВИРОВАННОГО ДВИЖЕНИЯ ДИСЛОКАЦИЙ[1]

Микрюков Антон Олегович, Волегов Павел Сергеевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, Россия,г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, anto-mikryuko@yandex.ru

В работе рассматривается двухуровневая модель, описывающая неупругое деформирование представительного объема поликристалла с ОЦК-решеткой. Основным механизмом неупругого деформирования на мезоуровне считаются сдвиги краевых дислокаций по кристаллографическим системам скольжения. Для описания данного механизма применяется модифицированное соотношение Орована, в котором учитывается термоактивационный характер движения дислокаций, а также возникающие в процессе деформирования обратные напряжения. В качестве определяющих соотношений мезо- и макроуровня используется закон Гука в скоростной релаксационной форме. В рамках модели принята кинематическая гипотеза Фойгта, согласно которой тензоры скоростей деформаций всех зёрен принимаются равными тензору деформации скорости представительного объёма поликристалла. С использованием модели проведены расчеты деформирования представительного объема поликристалла вплоть до достижения заданной интенсивности деформации при использовании заданной схемы деформирования. Построены и проанализированыкривые деформирования поликристалла.

Ключевые слова: двухуровневая модель, обратные напряжения, ОЦК, термоактивированное движение дислокаций, физические теории пластичности

Процесс деформирования приводит кизменению дефектной структуры кристалла, переориентации кристаллической решётки зерен, а также к изменению формы и размеров зерен поликристалла. Изменение мезо- и микроструктуры существенно влияет на поведение материала на макроуровне, вследствие этого становятся актуальными модели, описывающие эволюцию внутренней структуры материала[1].

Процессы обработки материалов и последующей эксплуатации изделий из них, как правило, сопровождаются различными температурно-силовыми режимами, в том числе связанными с существенными изменениями и градиентами температур. Поскольку основным механизмом пластических деформаций является скольжение дислокаций, которое относятся к термоактивируемым механизмам, то необходимо разрабатывать такие модели неупругого деформирования, в которых учитывалось бы влияние температуры на свойства материала.

[1]Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4917.2015.1, РФФИ (грант №14-01-96008 р_урал_а).
© Микрюков А.О., Волегов П.С., 2016 г.

В процессе деформирования дислокации могут образовывать барьеры, которые препятствуют дальнейшему скольжению дислокаций по данной кристаллографической системе. Такие дислокации являются источниками так называемых обратных напряжений (в англоязычной литературе имеют название “backstress”), которые при последующем деформировании в противоположном направлениимогут выступать в качестве дополнительных «разгоняющих» напряжений для дислокаций данной кристаллографической системы [2].

Целью работы является разработка и реализация математической модели, описывающей процессы неупругого деформирования поликристаллического материала с объемноцентрированной кубической (ОЦК) решеткой с учетом температуры и обратных напряжений, а также исследование с их помощью зависимости напряжения от деформаций, при различных схемах деформирования.

В работе используется модель, основанная на двухуровневом подходе неупругого деформирования поликристалла [3]. На макроуровне, или верхнем уровне, рассматривается представительный объем поликристаллического материала, состоящий из элементов мезоуровня, или нижнего уровня – кристаллитов.

Модель мезоуровня представляется следующей совокупностью соотношений:

$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{\sigma}} = \boldsymbol{\pi} : \left(\mathbf{d} - \mathbf{d}^{\mathbf{in}} \right), \\ \mathbf{d}^{\mathbf{in}} = \sum\limits_{i=1}^{\mathrm{K}} \dot{\gamma}^{(i)} \mathrm{n}^{(i)} \mathrm{b}^{(i)}, \\ \dot{\gamma}^{(i)} = \dot{\gamma}_0 \left| \dfrac{\tau_{\mathrm{eff}}^{(i)}}{\tau_{\mathrm{c}}^{(i)}} \right|^m \exp\left(-\dfrac{\mathrm{E}}{\mathrm{kT}} \right) \mathrm{H}\left(\tau_{\mathrm{eff}}^{(i)} - \tau_{\mathrm{c}}^{(i)} \right), i = 1,...,\mathrm{K}, \\ \tau_{\mathrm{eff}}^{(i)} = \tau^{(i)} - \tau_{\mathrm{b}}^{(i)}, i = 1,...,\mathrm{K}, \\ \tau_{\mathrm{b}}^{(i)} = -\mathrm{b}^{(i)} \cdot \boldsymbol{\sigma}^{ind} \cdot \mathrm{n}^{(i)}, i = 1,...,\mathrm{K}, \\ \boldsymbol{\sigma}^{ind} = \boldsymbol{\sigma}^{ind} \left(\mathrm{b}^{(i)}, \mathrm{n}^{(i)} \right), i = 1,...,\mathrm{K}, \\ \hat{\nabla} \mathbf{v} = \hat{\nabla} \mathbf{V}, \end{cases} \tag{1}$$

где $\boldsymbol{\sigma}$ – тензор напряжений Коши; $\boldsymbol{\pi}$ – тензор модулей упругости; $\mathbf{d}, \mathbf{d}^{\mathbf{in}}$ – тензор деформации скорости и его неупругая составляющая; $\dot{\gamma}^{(i)}, \tau_{\mathrm{c}}^{(i)}$ – накопленный сдвиг и критическое напряжение сдвига поi-й системе скольжения; $\tau_{\mathrm{eff}}^{(i)}, \tau^{(i)}, \tau_{\mathrm{b}}^{(i)}$ –эффективное касательное напряжение, сдвиговое и обратное напряжение для i-й системы скольжения; E – свободная энергия Гельмгольца активации дислокационного движения; T – температура; k – постоянная Больцмана; $\mathrm{H}(\cdot)$ – функция Хэвисайда; $\boldsymbol{\sigma}^{ind}$ – тензор «внутренних напряжений»; K – количество систем скольжения.

На макроуровне поведение материала описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \dot{\boldsymbol{\Sigma}} = \boldsymbol{\Pi} : \left(\mathbf{D} - \mathbf{D}^{\mathbf{in}} \right), \\ \boldsymbol{\Pi} = \boldsymbol{\Pi}\left(\boldsymbol{\pi}_{(i)}, \mathbf{o}_{(i)} \right), i = 1,...,\mathrm{N}, \\ \mathbf{D}^{\mathbf{in}} = \mathbf{D}^{\mathbf{in}}\left(\mathbf{d}^{\mathbf{in}}{}_{(i)}, \boldsymbol{\pi}_{(i)} \right), i = 1,...,\mathrm{N}. \end{cases} \quad (2)$$

где $\boldsymbol{\Sigma}$ – тензор напряжений Коши на макроуровне; $\boldsymbol{\Pi}$ – тензор модулей упругости; $\mathbf{D}, \mathbf{D}^{\mathbf{in}}$ – тензор деформации скорости и его неупругая составляющая; N – число кристаллитов, образующих представительный макрообъем. Таким образом, учет температуры на напряженно-деформированное состояние на макроуровне осуществляется неявно: температура влияет на скорости сдвигов согласно $(1)_3$, по которым, в свою очередь, восстанавливается неупругая составляющая тензора деформации скорости в каждом из зерен (см. $(1)_2$), а уже по осредненным $\mathbf{d}^{\mathrm{in}}$ определяется $\mathbf{D}^{\mathrm{in}}$на макроуровне.

Используя описанную выше модель, был выполнен численный эксперимент по одноосному деформированию представительного макрообъема поликристалла, состоящего из случайно ориентированных кристаллитов с ОЦК-решеткой общим числомN = 100. Параметры материала соответствовали стали Ст45: $\Pi_{iiii} = 220\text{ГПа}$, $\Pi_{iijj} = 166\text{ГПа}$, $\Pi_{ijij} = 87\text{ГПа}$, $\dot{\gamma}_0 = 10^{-5}\ \text{с}^{-1}$, $\mathrm{m} = 96$, $\mathrm{E} = 0.246\,\text{эВ}$ [4].

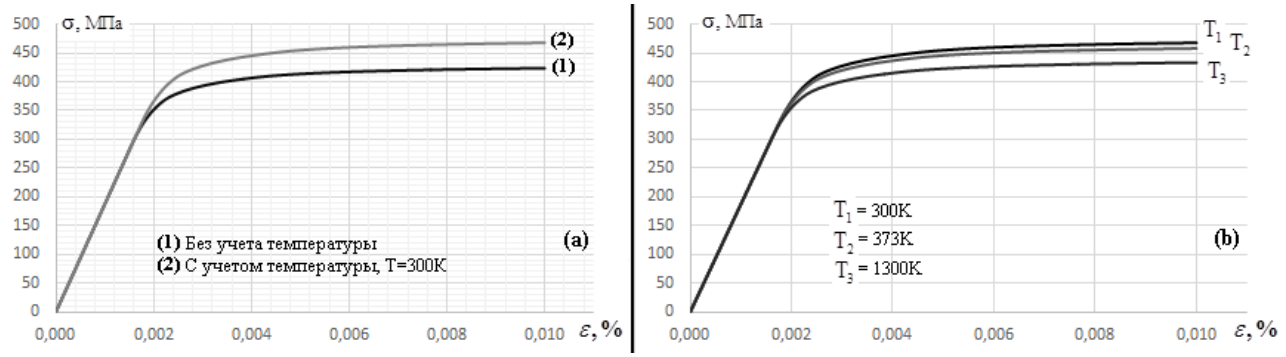


Рис. 1. Зависимости интенсивности напряжений от интенсивности деформаций без учета (a) и с учетом (b) термоактивированного движения дислокаций при одинаковом равномерном распределении ориентации кристаллитов

На рис. 1 предоставлены графики зависимостей интенсивности напряжений от интенсивности деформаций. Рис. 1, a демонстрирует, что между двухуровневыми моделями с учетом и без учета термоактивированного движения дислокаций имеются существенные различия, в частности, разница между пределами упругости составляет порядка ~10%. Рис. 1, bдемонстрирует распределение интенсивностей напряжений при различных температурах в процессе деформирования. На данном графике наблюдается, что предел упругости при повышении температуры стремится к пределу упругости без учета термоактивированного движения дислокаций.

Библиографический список

1. *Трусов П.В., Волегов П.С., Кондратьев Н.С.* Физические теории пластичности: учебное пособие. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – 244 с.
2. *Bayley C.J., Brekelmans W.A.M., Geers M.G.D.* A comparison of dislocation induced back stress formulations in strain gradient crystal plasticity // International Journal of Solids and Structures. – 2006. – №43. – P.7268 – 7286.
3. *Трусов П.В., Швейкин А.И., Нечаева Н.С., Волегов П.С.* Многоуровневые модели неупругого деформирования материалов и их применение для описания эволюции внутренней структуры // Физическая мезомеханика. – 2012. –Т. 15. – № 1. – С. 33 – 56.
4. *Янц А.Ю.* Двухуровневая математическая модель для описания неупругого деформирования поликристаллов: приложение к анализу сложного нагружения в случае больших градиентов перемещений: дис. … к.ф-м.н: 01.02.04. – Пермь, 2016. – 149 с.

TWO-LEVEL MODEL OF INELASTICDEFORMATIONSINBCCPOLYCRYSTALLINECONSIDERBACKSTRESSANDTHERMALLYACTIVATEDMOTION OF DISLOCATIONS

Mikryukov Anton O., Volegov Pavel S.

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm,Russia, 614990, anto-mikryuko@yandex.ru

This article considers two-level model describing the inelastic deformation of a representative volume of polycrystal with BCC lattice. The main mechanism of inelastic deformation at the mesolevel is considered as edge dislocations shears in crystallographic slip systems. Under this mechanism dening, relation supports a modified ratio of Orowan under which is accounted for thermally activated nature of the dislocation motion, and back stress arisesin the process of deformation. Hooke's law in rate relaxation form is used as the constitutive relations at the meso- and macrolevels. In this model, the Voight kinematic hypothesis according to which the strain rate tensors of all grains are coincide with the strain rate tensor of representative volume of polycrystallineis used. Using the model the calculations of the deformation of a representative volume of the polycrystal until a predetermined intensity of deformation using the given scheme of deformation. Deformation curves were obtained and analized.

Keywords: back stress, BCC, crystal plasticity, thermally activated motion, two-level model

УДК 539.3

ДВУХУРОВНЕВАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГЦК-ПОЛИКРИСТАЛЛА С УЧЕТОМ СЛУЧАЙНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАЧАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК[1]

Никифоров Александр Сергеевич, Баранов Максим Алексеевич, Волегов Павел Сергеевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, Россия,г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, maximbaranov.123@gmail.com

Рассматривается процесс неупругого деформирования поликристаллических материалов с учетом случайного распределения начальных критических напряжений по кристаллографическим системам скольжения дислокаций. Приведены основные определяющие соотношения двухуровневой математической модели неупругого деформирования поликристаллов на базе физической теории пластичности. Проведены численные эксперименты, позволяющие проанализировать влияние случайного распределения начальных критических напряжений на процесс деформирования на уровне представительного макрообъема и отдельных зерен. Получены и проанализированы зависимости интенсивности напряжений от интенсивности деформаций. Выявлено, что при случайном разбросе начальных критических напряжений пластические деформации начинаются при меньших напряжениях, чем при одинаковых значениях критических напряжений. Были получены зависимости действующих касательных напряжений от интенсивности напряжений и зависимость числа активных систем скольжений от интенсивности деформаций.

Ключевые слова: физические теории пластичности, поликристалл, случайное распределение начальных критических характеристик

Процесс деформирования приводит к изменению дефектной структуры кристалла, переориентации кристаллических решёток зерен, а также к изменению самой зеренной структуры[1]. Одним из основных методов моделирования таких процессов является подход, основанный на физических теория пластичности [2]. Обычно при моделировании таких процессов не учитывается неоднородность процессов предшествующего деформирования, которые приводят к различным значениям параметров материала, таких как критические напряжения сдвига дислокаций, упругие характеристики, фазовый состав и т.д. Различные значения параметров материала, в свою очередь, могут оказать существенное влияние на характер деформирования, и в таком случае результаты моделирования могут отличаться от реального поведения материала.

Целью работы является разработка математической модели деформирования поликристалла с гранецентрированной кубической (ГЦК) решёткой и исследование влияния

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4917.2015.1, РФФИ (грант №14-01-96008 р_урал_а).
© Никифоров А.С., Баранов М.А., Волегов П.С., 2016 г.

случайного распределения начальных критических напряжений сдвига дислокаций на характер процесса деформирования.

В качестве модели макроуровня принята упруговязкопластическая модель неупругого деформирования ГЦК-поликристалла (кинематического типа), при этом считается, что основной вклад в неупругое деформирование вносит движение дислокаций по системам скольжения; в качестве определяющего соотношения на каждом из масштабных уровней используется закон Гука в скоростной релаксационной форме. Напряжения на макроуровне в этом случае определяются осреднением напряжений в элементах мезоуровня – зернах. Для связи уровней в рамках модели принятагипотеза Фойгта, согласно которой тензоры скоростей деформации всех зерен совпадают с тензором деформации скорости представительного объема поликристалла.

Ниже приведена система уравнений, описывающих напряжённо-деформированное состояние элемента мезоуровня:

$$\begin{cases} \boldsymbol{\sigma} = \mathbf{\Pi} : \mathbf{d}^{\mathbf{e}} = \mathbf{\Pi} : \left(\mathbf{d} - \mathbf{d}^{in} \right), \\ \mathbf{d}^{in} = \sum\limits_{k=1}^{n} \dot{\gamma}^{(i)} \mathbf{n}^{(i)} \mathbf{b}^{(i)}, \\ \dot{\gamma}^{(i)} = \dot{\gamma}_0 \left| \dfrac{\tau^{(i)}}{\tau_c^{(i)}} \right|^m \mathrm{H}\left(\tau^{(i)} - \tau_c^{(i)} \right), i = 1, ..., \mathrm{k}, \\ \tau^{(i)} = \mathbf{b}^{(i)} \mathbf{n}^{(i)} : \boldsymbol{\sigma}, \\ \mathbf{d} = \mathbf{O} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{O}^{\mathrm{T}}, \end{cases} \tag{1}$$

где $\boldsymbol{\sigma}$ – тензор напряжений Коши; $\mathbf{d}, \mathbf{d}^{in}$ – тензор деформации скорости и его неупругая составляющая; $\mathbf{\Pi}$ – тензор модулей упругости; $\mathbf{n}^{(i)}, \mathbf{b}^{(i)}$ – векторы нормали и Бюргерса для *i*-ой системы скольжения; $\tau_c^{(i)}$ – критическое напряжение; $\tau^{(i)}$ – действующее напряжение; $\dot{\gamma}^{(i)}$ – скорость сдвига; $\mathbf{O}$ – ортогональный тензор поворота; $\mathrm{H}(\cdot)$ – функция Хевисайда.

Реализация случайной величины *B*, распределенной по нормальному закону,может быть получена (приближенно) с использованием следующего соотношения:

$$\begin{cases} R = \sum\limits_{i=1}^{12} x_i, \\ B = M + D\left(R - 6 \right), \end{cases} \tag{2}$$

где x – случайное число, распределенное по равномерному закону от 0 до 1; M – математическое ожидание; D – дисперсия.

Разработанная математическая модель неупругого деформирования реализована численно, проведено две серии экспериментов по простому сдвигу представительного объёма ГЦК-поликристалла: в первом случае начальные критические напряжения

принимались одинаковыми по всем системам скольжения, во втором – соответствовали случайному нормальному распределению с математическим ожиданием M=17,5 МПа и дисперсией D=2 МПа.Расчёты проводились для поликристалла из 100 зёрен до достижения интенсивности деформаций порядка 5%. Входные параметры модели соответствуют технически чистой меди.

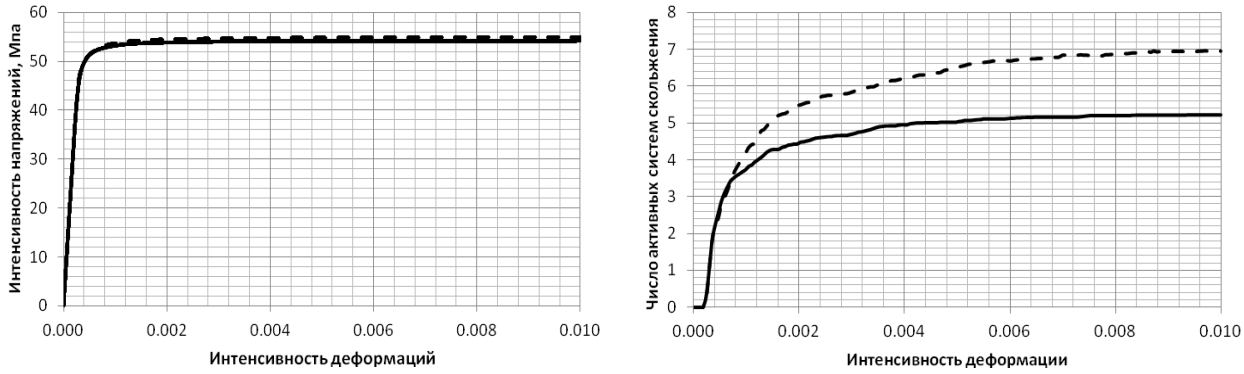


Рис. 2. Слева – кривые деформирования представительного объема поликристалл. Справа – зависимость числа активных систем скольжений от интенсивности деформаций

На рис. 1, слева представлены кривые деформирования для поликристалла, где пунктирной линии соответствует кривая деформирования в случае принятия начальных критических напряжений одинаковыми, а сплошной линии соответствует кривая деформирования в случае случайного распределения. При этом разница между пластическими деформациями в поликристалле с одинаковыми и случайными начальными критическими напряжениями не существенна (рис. 1, слева).

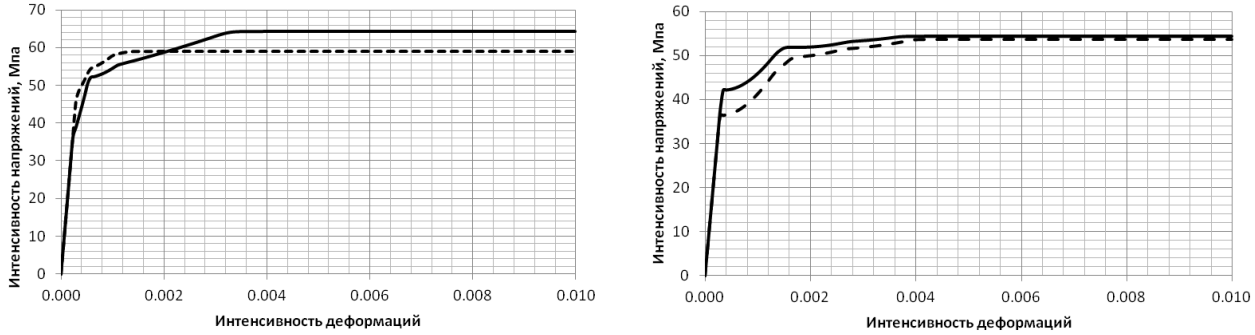


Рис. 2. Кривые деформирования отдельных зерен поликристалла

Однако, в случае нормального распределения критических касательных напряжений среднее число активных систем скольжения существенно меньше, чем в случае принятия начальных критических напряжений одинаковыми по всем системам скольжения всех зерен (рис. 1, справа), что может повлечь качественно другой характер эволюции внутренней структуры (дефектной, зёренной и др.) в отдельных зернах (рис. 2).

Таким образом, учет случайного разброса начальных критических напряжений оказывает существенное влияние на характер деформирования отдельных зёрен, что может привести к существенным различиям в эволюции внутренней структуры на мезоуровне (упрочнение, развороты кристаллических решеток, накопление поврежденности и т.д.), поэтому необходимо проводить дополнительные исследования такого влияния на другие механизмы неупругого деформирования.

Библиографический список

1. *Трусов П.В., Швейкин А.И., Нечаева Н.С., Волегов П.С.* Многоуровневые модели неупругого деформирования материалов и их применение для описания эволюции внутренней структуры // Физическая мезомеханика. – 2012. – Т. 15. – № 1. – С. 33 – 56.
2. *Трусов П.В., Волегов П.С., Кондратьев Н.С.* Физические теории пластичности: учебное пособие. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – 244 с.

TWO-LEVEL MATHEMATICAL MODEL OF DEFORMATION IN FCC POLYCRYSTALLINE WITH RANDOM DISTRIBUTION OF INITIAL CRITICAL CHARACTERISTICS

Nikiforov Alexander S., Baranov Maxim A., Volegov Pavel S.

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm,Russia, 614990, maximbaranov.123@gmail.com

The process of polycrystalline materials inelastic deformation with the random distribution of initial critical stress on dislocations crystallographic slip systems is discussed. The basic constitutive relationships of two-level mathematical models of polycrystalline inelastic deformation based on crystal plasticity are shown. Numerical experiments allowing analyzing the influence of the random distribution of initial critical stress on the deformation process at the representative volume and individual grains are obtained. The stress-strain dependence was obtained and analyzed. We found that plastic deformation starts at a lower stress when use random variation of the initial critical stress than at the equal values of critical stress. During researching, we found the dependence of acting shear stresses from the intensity of the stresses and the dependence of the number of active systems slides from deformation intensity.

Keywords: crystal plasticity, polycrystal, random distribution of initial critical characteristics

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РОТАЦИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЕТОК И УПРОЧНЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ МЕЗОНАПРЯЖЕНИЙ В МОДЕЛИ НЕУПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛА[1]

Овчинников Евгений Иванович, Волегов Павел Сергеевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614000, Россия,г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, efm620@gmail.com

В работе рассмотрены процессы неупругого деформирования ГЦК-поликристаллов в рамках двухуровневой математической модели, построенной на базе физической теории упруговязкопластичности. Рассмотрен механизм возникновения остаточных мезонапряжений в отдельных зернах представительного объема поликристалла после его разгрузки. Введено понятие остаточных мезонапряжений, отсутствующее в рамках общепринятой классификации остаточных напряжений по масштабу. Представлена методика расчета остаточных мезонапряжений в рамках модели неупругого деформирования поликристалла. Проведено сравнение распределения величины остаточных мезонапряжений по зернам поликристалла в случаях использования базовой двухуровневой модели, а также при использовании подмоделей ротаций кристаллических решеток и базового упрочнения. Обосновано использование модели ротаций кристаллических решеток, связанной с несовместностью пластических деформаций. Проведен физический анализ полученных распределений, представлен взгляд на физические причины выявленных различий.

Ключевые слова: математическая модель, физические теории пластичности, поликристалл, ротации кристаллических решеток, упрочнение, остаточные напряжения.

Остаточные напряжения (ОН), возникающие в процессах механической обработки металлов, могут существенно снижать эксплуатационные характеристики материалов, в частности, прочность и долговечность [1]. Создание математических моделей неупругого деформирования поликристаллических тел, позволяющих оценивать величину и распределение ОН, является наиболее перспективным направлением в современной механике и физике твердого тела. При этом важно учитывать физические механизмы возникновения ОН, что естественным образом можно сделать в моделях, основанных на физических теориях пластичности [2].

Исследования проводятся в рамках двухуровневой модели упруговязкопластического деформирования поликристалла [2]. Элементом макроуровня является представительный объем поликристалла, состоящий из элементов мезоуровня – кристаллитов или монокристаллических зерен. В рамках работы приняты гипотезы о кинематическом и изотермическом нагружении. Механизмом пластической деформации принято скольжение

[1]Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4917.2015.1, РФФИ (грант №14-01-96008 р_урал_а).
© Овчинников Е.И., Волегов П.С, 2016 г.

краевых дислокаций по кристаллографическим системам скольжения. ОН возникают из-за несовместности пластических деформаций отдельных зерен, поэтому в работе учитываются ротации кристаллических решеток, для которых принимается модель несовместности пластических деформаций[3], ниже приведены соотношения, используемые в этой модели:

$$\begin{cases} [\mathrm{L}^{p\mathrm{T}}]^m = \sum_i^K \dot{\gamma}^i \mathbf{n}^i \mathbf{b}^i - \sum_j^K \dot{\gamma}^{j(m)} \mathbf{n}^{j(m)} \mathbf{b}^{j(m)}, \\ (\mathbf{m}^r)^m = \lambda \mathbf{N} \times [\mathbf{L}^{p\mathrm{T}}]^m \cdot \mathbf{N}, \\ \mathbf{m}^r = \sum_{m=1}^M (\mathbf{m}^r)^m, \end{cases} \quad (1) \quad \begin{cases} \dot{\varphi}^i = \begin{cases} \frac{1}{\mathrm{A}} \left|\dot{\mathbf{M}}^i\right| + \frac{1}{\mathrm{H}} \left|\mathbf{M}^i\right|, \left|\mathbf{M}^i\right| = M_c \text{ и } \mathbf{M}^i \cdot \dot{\mathbf{M}}^i \geq 0, \\ \frac{1}{\mathrm{A}} \left|\dot{\mathbf{M}}^i\right|, \text{ в противном случае} \end{cases} \\ \mathbf{M}^i = \frac{1}{V^i} \sum_{m=1}^M [\mathbf{m}^m S_m^i], \quad \mathbf{e}^i = \mathbf{M}^i \Big/ \left|\mathbf{M}^i\right|, \end{cases}$$

Ошибка! Закладка не определена.

где $[\mathrm{L}^{p\mathrm{T}}]^m$ – скачок пластической деформации в соседних зернах, $\mathbf{m}^r$ – скорость изменения вектора поверхностного момента, $\mathbf{M}^i$ – объемный вектор-момент, $\mathbf{e}^i$ – ось вращения, $\dot{\varphi}^i$ – мгновенная скорость вращения решетки.

В рамках исследуемой модели удобно ввести термин «остаточные мезонапряжения» (ОМН), так как исследуемые ОН выпадают из общепринятой классификации остаточных напряжений по масштабу, поскольку они уравновешены на уровне представительного объема и проявляются на масштабах отдельных зерен.

При построении модели, пригодной для оценки ОМН, принципиально важной является реализация упругой разгрузки, которой предшествует процесс неупругого деформирования. С алгоритмической точки зрения, процесс разгрузки характеризуется выполнением следующего условия на каждом шаге моделирования [4]:

$$\mathbf{\Pi} : (\mathbf{D} - \mathbf{D}^{in}) = -\lambda \mathbf{\Sigma}, \quad (2)$$

где $\mathbf{\Pi}$ – тензор упругих констант макроуровня, $\mathbf{D}$, $\mathbf{D}^{in}$ – тензор деформации скорости и его неупругая составляющая соответственно, $\mathbf{\Sigma}$ – тензор напряжений макроуровня, λ – характерная скорость разгрузки. Процесс разгрузки необходимо продолжать до тех пор, пока интенсивность макронапряжений Σ_u не станет равной нулю.

В рамках исследования проведено три численных эксперимента на одноосное растяжение до интенсивности деформаций в 50% и последующую разгрузкуполикристаллического агрегата, состоящего из 1000 ГЦК-монокристаллов. Параметры модельногоматериала соответствуют характеристикам технически чистой меди. На рис. 1, а показано распределение зерен по величине (интенсивности) остаточных мезонапряжений для эксперимента без учета ротаций кристаллической решетки и упрочнения, на рис. 1, б – для эксперимента с учетом упрочнения, на рис. 1, в– для эксперимента с учетом ротаций кристаллической решетки.

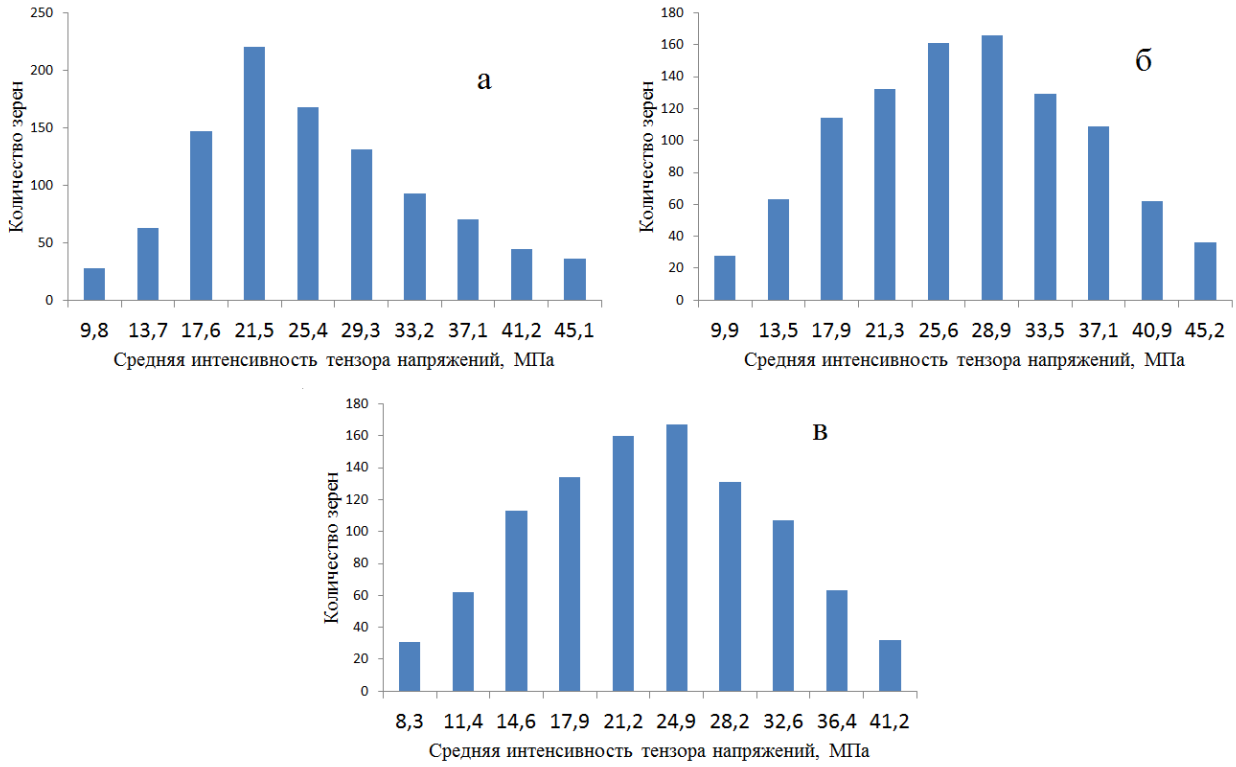


Рис. 1. Распределение кристаллитов по величине остаточных мезонапряжений, а – эксперимент без учета ротаций и упрочнения, б – эксперимент с учетом упрочнения, в – эксперимент с учетом ротаций

Заметно, что включение механизма ротаций кристаллических решеток снижает максимальные остаточные напряжения в зернах, что объясняется конкуренцией механизмов запасания внутренней энергии (что в конечном счете и выражается в появлении остаточных напряжений) и релаксации подводимой энергии за счет пластических сдвигов и ротаций решеток. Учет упрочнения делает распределение более симметричным, что может быть связано с тем, что предел текучести при деформировании в пластической зоне увеличивается примерно в 1,5 раза за счет накопленных сдвигов, которые реализуются во всех зернах, вовлекая их в процесс деформирования.

Таблица 1. Параметры распределений ОМН в зернах

Эксперимент	Среднее значение, МПа	Среднее отклонение, МПа
Без упрочнения и ротаций	25,6	9,7
С учетом упрочнения	27,4	9,7
С учетом ротаций	23,3	8,9

В табл. 1 приведены средние значения и средние отклонения остаточных мезонапряжений в зернах, во всех проведенных экспериментах. Как видно из данных таблицы, упрочнение не вносит значительного вклада в среднее отклонение остаточных напряжений, однако, вносит существенный вклад в само среднее значение. Ротации

кристаллических решеток оказывают комплексное релаксационное воздействие, снижая как среднее значение, так и среднее отклонение.

Библиографический список

1. *Давиденков Н.Н.* Избранные труды: В 2-х т.– Киев: Наук думка. Т. 1. Динамическая прочность и хрупкость металлов. 1981.– 704 с.
2. *Трусов П.В. Волегов П.С. Кондратьев Н.С.* Физические теории пластичности: учеб. пособие // Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 244 с.
3. *Trusov P.V. Volegov P.S. Shveykin A.I.* Multilevel model of inelastic deformation of fcc polycrystalline with description of structure evolution // Computational Materials Science. – 2013. – Т. 79. – С. 429-441.
4. *Волегов П.С., Трусов П.В., Янц А.Ю.* Остаточные мезонапряжения в двухуровневых физических теориях пластичности поликристаллов// Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественныеитехническиенауки. – 2013. – Т. 18, № 4-2. – С. 1623-1624.

STUDY OF CRYSTAL LATTICE ROTATION AND HARDENING INFLUENCE TO RESIDUAL STRESS DISTRIBUTION USING THE MODEL OF POLYCRYSTALLINE INELASTIC DEFORMATION

Ovchinnikov Eugene I., Volegov Pavel S.

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm,Russia, 614000, efm620@gmail.com

The paper discusses the processes of inelastic deformation of fcc polycrystalline under the two-level model built on the basis of the crystal plasticity. The mechanism of occurrence of residual stresses in individual grains of representative volume polycrystalline was considered. The concept of residual stresses that is not in the framework of a common classification of residual stresses by scale was obtained. The algorithm for calculating the residual stresses within inelastic deformation model polycrystalline was considered. A comparison of the distribution of the residual stresses value in polycrystalline grain in the case of basic two-level model, as well as using submodels rotations of crystal lattices and base reinforcement was carried out. Reasonable use model rotations of crystal lattices related to the incompatibility of plastic deformation was grounded. Spend a physical analysis of the distributions was shown, we take a look at the physical reasons for the differences found.

Key words: mathematical model, crystal plasticity, polycrystalline, rotation of crystal lattices, hardening, residual stress.

УДК 539.3

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗЕРНОГРАНИЧНОГО УПРОЧНЕНИЯ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ[1]

Озерных Владимир Сергеевич, Волегов Павел Сергеевич

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

Вработе рассматриваются некоторые физические механизмы упрочнения металлических материалов при их неупругом деформировании.Используется двухуровневая упруговязкопластическая математическая модель неупругого деформирования представительного объема поликристалла. Исследовано влияние взаимодействия дислокаций с границами зерен на упрочнение материала при монотонном деформировании. Записаны соотношения, связывающие изменение критических сдвиговых напряжений на системах скольжения дислокаций с параметрами процесса деформирования. Найдены значения параметров, входящих в законы упрочнения, исследовано влияние этих параметров на деформационное поведение материала. Исследовано поведение двухфазного (ОЦК-ГЦК) бикристаллического элементапри монотонном неупругом деформировании. Изучен процесс перехода дислокаций из одного зерна в другое в бикристаллическом элементе, описано явление зернограничного упрочнения при малоугловых разориентациях соседних кристаллитов. Проведен анализ полученных зависимостей интенсивности напряжений от интенсивности деформаций для поликристалла и бикристаллического элемента.

Ключевые слова: физические теории пластичности, неупругое деформирование, двухфазный материал, упрочнение, границы зерен.

Прочность является одним из наиболее важных свойств материала: чем прочнее материал, тем при более высоких нагрузках его можно использовать.Границы диапазона предельных нагрузок, в котором может эксплуатироваться тот или иной материал, определяет величина предела текучести материала, то есть такое напряжение, при котором деформации продолжают расти без увеличения прикладываемой нагрузки. Следовательно, необходимо разрабатывать такие способы повышения предела текучести материала, которые при этом не приводили бы к ухудшению других физико-механических параметров материала. На макроуровне увеличение предела текучести материала обычно называют упрочнением, при этом основной физической причиной упрочнения является увеличение критических сдвиговых напряжений на системах скольжения дислокаций. На уровне дислокационной структуры физические причины, приводящие к упрочнению, весьма разнообразны: упрочнение связывают с взаимодействием дислокаций между собой, со скоплениями дислокаций [1]; также существенное влияние на упрочнение оказывает наличие границ зерен

[1] Публикация подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (грант 14-01-96008 р_урал_а) и гранта Президента РФ №МК-4917.2015.1.
© Озерных В.С., Волегов П.С., 2016 г.

в поликристаллическом агрегате. В связи с этим, возникает необходимость физически корректного описания различных эффектов, связанных с взаимодействием дислокаций, в первую очередь, – таким мощным источником увеличения критических напряжений сдвига дислокаций, как границы зерен.

В работе используется двухуровневая математическая модель поликристалла, в которойэлемент макроуровня представляет собой представительный объем поликристалла, состоящий из элементов мезоуровня – отдельных монокристаллических зерен. В качестве определяющего соотношения на макро и мезоуровне является закон Гука в скоростной релаксационной форме [1]. Элемент мезоуровня (отдельный кристаллит) характеризуется начальными критическими напряжениями по всем системам скольжения, упругими параметрами, параметрами упруговязкопластического закона. Основным механизмом неупругих деформаций на мезоуровне считаются сдвиги дислокаций по кристаллографическим системам скольжения при достижении в последних критических касательных напряжений. Структура и соотношения предложенной модели подробно описаны во многих работах (например, [1]), здесь заострим внимание только на законе зернограничного упрочнения.

Выражение для скорости увеличения критических напряжений сдвига дислокаций, обусловленных механизмом зернограничного упрочнения, можно записать как [2]:

$$f_{ЗГУ}^{(j)} = \dot{\tau}_{ЗГУ}^{(j)} = \eta \frac{1}{V} \xi^{(j)} \dot{\gamma}^{(j)} \gamma^{(j)} S^{(j)}, \qquad (1)$$

где V – объем зерна, $S^{(j)}$ – площадь соприкосновения данного зерна с соседним, $\xi^{(j)}$ – мера разориентации текущего и соседнего кристаллита.

Существуют различные подходык построению меры разориентации ξ .Ее можно определять, например, из условий минимума скорости приращения внутренней энергии соседних кристаллитовпри переходе дислокаций через границу[3]. В данной работе используется мера разориентации, учитывающая геометрические особенности взаимного расположения систем скольжения соседних зерен[2].

В структуре двухфазных материалов (например, дуплекс стали [3]), всегда можно выделить пары соседних зерен (конгломератов зерен), имеющих различный тип кристаллической решетки.Особый интерес с точки зрения зернограничного упрочнения вызывает исследование переходов дислокаций через границы таких структурных элементов. Для этого в работе исследуется поведение бикристаллического элемента(ОЦК-ГЦК), мысленно выделенного в поликристаллическом агрегате дуплекс стали. Следует отметить, что используемая модель относится к статистическим, поэтому форма и конкретная

«упаковка» таких элементов в реальном поликристалле не рассматривается – важно лишь знать количество соседних элементов и ориентации фасеток границ. Проведено два эксперимента по простому сдвигу бикристаллического элемента, параметры модели в которых оставались идентичными, менялось только направление деформирования. На рис.1, а представлены результаты моделирования при «прямом» направлении сдвига, на рис.1, б представленырезультаты моделирования при деформировании в обратном направлении.На верхних изображениях рис. 1 представлены кривые зависимости интенсивности напряжений от интенсивности деформаций для бикристаллического элементаи для каждого из зерен в отдельности. На нижних иллюстрациях рис. 1 представлены графики изменения числа активных систем скольжения в каждом из зерен бикристаллического элемента.

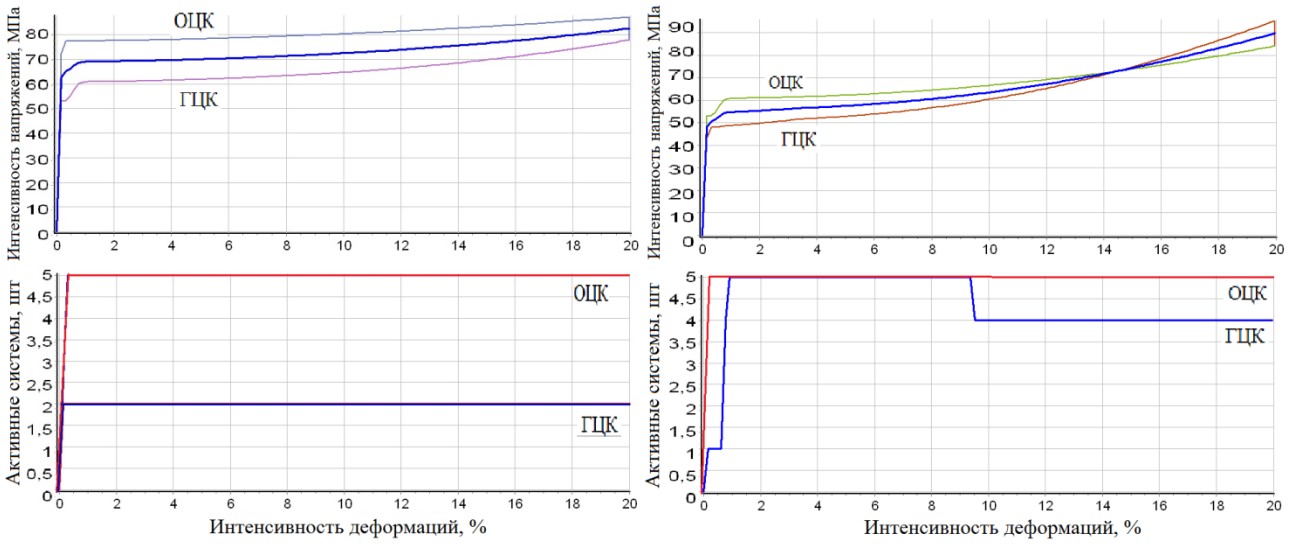


Рис. 1. Кривые напряженно-деформированного состояния (вверху, а – «прямое деформирование», б – обратное)и зависимости количества активных систем скольжения от интенсивности деформаций (внизу)

Анализируя кривые, представленные на рис.1, можно заметить, что в ОЦК-фазе упрочнение происходит менее интенсивно. Это можно объяснить тем, что поскольку в ОЦК-фазе общее число систем скольжения больше, чем в ГЦК-фазе, то и вариантов перехода дислокаций тоже больше, значит, медленнее меняются критические напряжения на конкретной системе скольжения, что и приводит к менее интенсивному упрочнению.

Проанализированы пары систем скольжения, из которых и в которые происходят переходы дислокаций. Выявлено, что наибольший вклад в упрочнение вносят те системы скольжения, мера разориентации которых наибольшая. Сравнивая кривые, представленные на рис.1, вверху, можно заметить, что при смене направления деформирования изменился предел текучести материала (на рис. 1, а предел текучести $\sigma_T = 70$ МПа, а на рис. 1, б предел

текучести $\sigma_т$ = 55 МПа). Соотношение активных систем скольжения осталось прежним: в ОЦК-фазе больше активных систем скольжения, чем в ГЦК-фазе, поэтому и упрочнение проходит менее интенсивно. Таким образом, можно ожидать, что при циклическом деформировании будет получена несимметричная кривая пластического гистерезиса. Иначе говоря, для такого бикристаллического элементане выполняется гипотеза единой кривой, и становится важно учитывать не только величину внешнего воздействия, но и его направление.

Библиографический список

1. *Трусов П.В., Волегов П.С. Кондратьев Н.С.* Физические теории пластичности: учебное пособие. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – 244 с.
2. *Volegov P.S., Trusov P.V., Shveykin A.I.* Multilevel models of polycrystals using crystal plasticity: investigation of hardening laws influence on the macro effects of cyclic loading// Journal of Physics: Conference Series. – 2014. – Т. 490. № 1. – С. 012037.
3. *Трусов П.В., Кондратьев Н.С.* Описание неупругого деформирования двухфазных поликристаллических материалов// Деформация и разрушения материалов. – 2013. – №6. – С. 08-15.

INVESTIGATION OF GRAIN BOUNDRARY HARDENING UNDERPOLYCRYSTALLINE DEFORMATION

Ozernykh Vladimir S., Volegov Pavel S.

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

In this paper, some physical hardening mechanisms in metal during inelastic deformation were considered. Two-level viscoelastoplasticity mathematical model of inelastic deformation of polycrystalline representative volume is used. The effect of the interaction of dislocations and grain boundaries on material hardening during monotonic deformation was studied. Equations relating the change of the critical shear stress in the dislocations slip systems with the parameters of the deformation process were written. The values of parameters in the hardening laws found, effect of these parameters on deformation behavior of material were studied. Behavior of the two-phase (BCC-FCC) bicrystal element during a monotonic inelastic deformation was considered. Process of transition of dislocations from one grain to another in bicrystal element studied the phenomenon of low-angle grain disorientation boundary hardening of neighboring crystallites was described. Stress-strain diagram of polycrystalline and bicrystal element was analysed.

Keywords: crystal plasticity, inelastic deformation,bicrystal element, hardening, grain boundaries.

УДК 539.3

ОПИСАНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА-ПЕТЧА В РАМКАХ ДВУХУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ НЕУПРУГОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛА[1]

Селуков Дмитрий Григорьевич, Волегов Павел Сергеевич

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614000, Россия,г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, siluk94@mail.ru

Рассмотрена и реализована двухуровневая математическая модель неупругого деформирования ГЦК-поликристаллов. В модели принято, что основной вклад в неупругое деформирование поликристаллов вносят движения дислокаций по системам скольжения. Движение дислокаций представляет собой сложный процесс, в ходе которого дислокации взаимодействуют друг с другом и с другими дефектами кристаллической решетки,при этом такое взаимодействие может приводить к повышению сопротивления деформации. Предполагается, что механизм влияния размера зерна на предел текучести заложен в процессе зернограничного упрочнения. Используемый закон упрочнения, явным образом учитывающий физические механизмы взаимодействия решеточных дислокаций с границами зерен, а также кинетику накопления в них дислокаций ориентационного несоответствия, позволяет описывать известное соотношениеХолла-Петча, что подтверждается проведенными вработе численными экспериментами на деформирование представительного объема поликристалла.

Ключевые слова: физические теории пластичности, двухуровневая модель, закон Холла-Петча, неупругое деформирование, зернограничное упрочнение, поликристалл

Выполнение различными конструкциями возложенных на них задач возможно только при строго установленных режимах эксплуатации, определяющих, в том числе, предельно допустимые температурно-силовые нагрузки. При определении диапазонов допустимых нагрузок конструкторы в первую очередь опираются на такое свойство материалов, как прочность. Механической величиной, характеризующей прочность материала, в свою очередь, является его предел текучести. В конструкциях широко применяются металлы, исследованию их поведения и посвящена настоящая работа. Металлы, как правило, представляют собой поликристаллы, состоящие из совокупности кристаллитов (зерен), размер которых влияет на свойства материала. Зависимость, связывающая предел текучести поликристаллов и средний размер зерна, носит название закона Холла-Петча. Существующие макрофеноменологические описания не вполне прозрачно объясняют причины и конкретные физические механизмы, приводящие к этой зависимости, поэтому предлагается использовать математические модели (в том числе многоуровневые), основанные на физических теориях пластичности [1,2].

[1] Публикация подготовлена при финансовой поддержке гранта Президента РФ № МК-4917.2015.1, РФФИ (грант №14-01-96008 р_урал_а).
© Селуков Д.Г., Волегов П.С., 2016 г.

Основным носителем процесса пластического деформирования в поликристаллах (в широком диапазоне материалов и воздействий) является движение дислокаций по кристаллографическим системам скольжения (СС) кристаллитов. Этот процесс протекает на масштабном уровне кристаллита (мезомасштабе). Процесс деформирования на макроуровне (то есть на масштабах представительного объема поликристалла) является совокупностью мезодеформаций. Таким образом, в деформируемом поликристалле можно выделить два масштабных уровня: уровень отдельного кристаллита и уровень представительного объема поликристалла. На мезоуровне дислокации начинают движение при достижении касательными напряжениями на кристаллографических системах скольжения некоторых критических значений. Упрочнение происходит в связи с повышением критических напряжений вследствие предыстории взаимодействия и накопления дефектов при деформировании. Взаимодействие дислокаций с границами зерен тем существеннее, чем больше их объемная плотность. При уменьшении размера зерна средний пробег дислокации сокращается, и она неизбежно взаимодействует с границей. Таким образом, зависимость начала пластической деформации, иначе, значение предела текучести, зависит от размера зерна в эволюционном соотношении, описывающем изменение критических напряжений (которое принято называть законом упрочнения). В используемом в работе законе упрочнения (1)учтена зависимость от взаиморасположения соседних взаимодействующих кристаллов, их границы, ориентаций системы скольжения переходящей дислокации и системы скольжения того зерна, в которое при скольжении переходит дислокация[3,4]:

$$f_{ЗГУ}^{(k)} = \eta \frac{1}{\mathrm{d}} \gamma^{(k)} \dot{\gamma}^{(k)} \sum_{l=1}^{\mathrm{L}} \mathrm{M}_l^{(k)} \frac{\mathrm{S}_l}{\mathrm{S}}, \; k = 1,...,\mathrm{K}, \tag{1}$$

где η – параметр зернограничного упрочнения, d – средний размер зерна, $\gamma^{(k)}$, $\dot{\gamma}^{(k)}$ – сдвиги по системам скольжения и их скорости соответственно, L – количество соседних зерен для данного, $\mathrm{M}_l^{(k)}$ – мера взаимной разориентации данного зерна, соседнего (l-го) зерна (k-й системы скольжения с системами скольжения соседнего зерна) и границы, S_l – площадь соприкосновения l-го зерна с данным, S – общая площадь зерна, K – количество систем скольжения. Чем больше площадь поверхности, тем больше дислокаций может переходить в данное зерно, тем большее упрочнение оно вызовет.

Мера разориентации $\mathrm{M}_l^{(k)}$ показывает, насколько близки в ориентационном пространстве системы скольжения и граница, и принимается в следующем виде [3, 4]:

$$\mathrm{M}_l^{(i)} = \min_j \left(\left\| \left[\Delta \mathbf{l}_l^{(i)(j)} \right]_{ЗГБ_i} \right\| \right), \tag{3}$$

где $\Delta\mathbf{l}_l^{(i)(j)}$ – разность тензоров деформации скорости, соответствующих пластическим сдвигам по *i*-й ССрассматриваемого зерна и *j*-й СС соседнего *l*-го зерна. Индекс ЗГБ$_i$ означает, что рассматриваются компоненты тензора в строго определенном базисе, связанном с границей зерна и *i*-й СС. Физический смысл меры заключается в том, что дислокация переходит в СС, при которой соседнее зерно приобретет минимальную внутреннюю энергию.

Результатом проведенного в работе ряда численных экспериментов на представительном объеме поликристалла технически чистой меди является зависимость условного предела текучести от размера зерна (рис. 1).

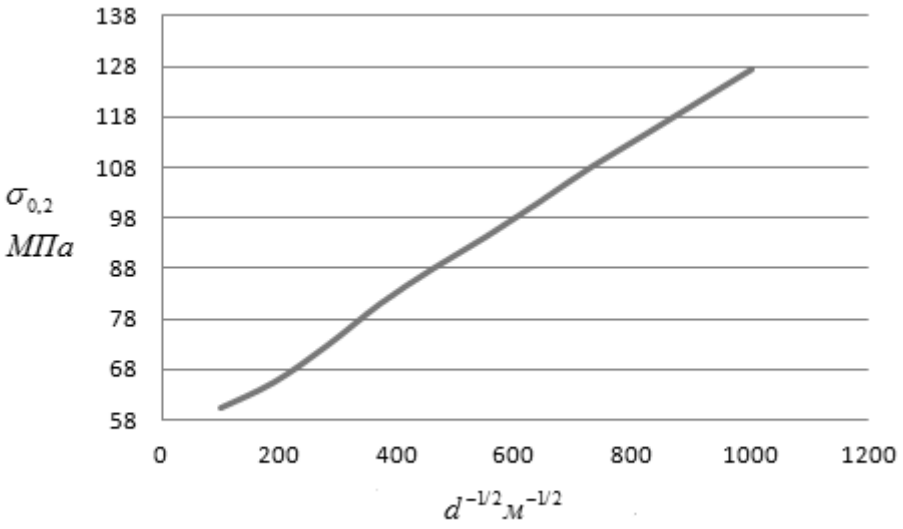


Рис. 1. Зависимость условного предела текучести от размера зерна. Диапазон размера зерна 10^{-6}–10^{-4}м

В работе реализована двухуровневая модель неупругого деформирования представительного объема металлического поликристалла, получено эволюционное уравнение, описывающее изменение критических напряжений на системах скольжения кристаллитов в связи с взаимодействием дислокаций с границами зерен, проведена идентификация внутренних параметров модели, проведены численные эксперименты для выявления предела текучести при различных размерах зерна в диапазоне 10^{-6}–10^{-3} м, построены графики полученных зависимостей. Поставленные эксперименты качественно удовлетворяют закону Холла-Петча.

Библиографический список

1. *Трусов П.В., Волегов П.С., Кондратьев Н.С.* Физические теории пластичности: учеб. пособие – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2013. – 244с.

2. *Трусов П.В., Волегов П.С.* Физические теории пластичности: приложение к описанию упрочнения в поликристаллах// Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2010. – Т. 15, № 3-1n. – С. 983-984.
3. *Trusov P.V., Volegov P.S.* Internal variable constitutive relations and their application to description of hardening in single crystals// Physical Mesomechanics. – 2010. – Т. 13, № 3-4. – С. 152-158.
4. *Трусов П.В., Волегов П.С.* Физические теории пластичности: теория и приложения к описанию неупругого деформирования материалов. Ч. 3: теории упрочнения, градиентные теории// Вестник ПНИПУ. Механика. – 2011. – № 3. – С. 146-197.

DESCRIPTION OF THE HALL-PETCH EFFECT WITHIN TWO-LEVELMATHEMATICAL MODEL OF INELASTIC DEFORMATION OF POLYCRYSTALS

Selukov Dmitriy G., Volegov Pavel S.

Perm National Research Polytechnic University,Komsomolsky Av. 29, Perm,Russia, 614990, siluk94@mail.ru

The two-level mathematical model of inelastic deformation of fcc polycrystals is considered and realized. It is accepted in model that the movement of dislocations on slip systems make the main contribution to inelastic deformation in each polycrystalline grain. The motion of dislocations is a complex process: dislocations interact with each other and with other lattice defects, and the interaction may increase resistance of further deformation development. It is assumed that the mechanism of the influence of polycrystals grain size on the yield stress founded in the grain boundary strengthening. Hardening law based on physical mechanisms of dislocation interactions with grains boundaries and on accumulation orientation discrepancy dislocations was used. This law allows to describe the Hall-Petch law, as evidenced by the carried out numerical experiments on the deformation of a representative volume of the polycrystal.

Key words: crystal plasticity, a two-level model, Hall-Petch law, inelastic deformation, grain boundary hardening, polycrystalline.

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ РОТАЦИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ ПРИ ИНТЕНСИВНЫХ НЕУПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЯХ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ[1]

Тельканов Михаил Александрович, Волегов Павел Сергеевич

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

В работе рассматривается двухуровневая математическая модель неупругого деформированияпредставительного объема поликристаллического материала. Основным механизмом неупругих деформаций на мезоуровне считаются сдвиги дислокаций по кристаллографическим системам скольжения. В качестве определяющих соотношений на мезо- и макроуровне используется закон Гука в скоростной релаксационной форме. В рамках модели принята гипотеза Фойгта, согласно которой тензоры скоростей деформации всех зёрен совпадают с тензором деформации скорости представительного объёма поликристалла. Для описания ротаций применена модифицированная модель, в которой причиной разворотов решёток зёрен считается несовместность пластических сдвигов в соседних зёрнах. С использованием модели проведены численные эксперименты с различными схемами деформирования поликристаллов с ГЦК и ОЦК решётками. Построены кривые деформирования и полюсные фигуры. Анализируются полученные кристаллографические текстуры и характер разворотов решёток зёрен.

Ключевые слова: двухуровневая модель, физические теории пластичности, поликристалл, неупругое деформирование, ротация решётки, несовместность пластических сдвигов.

Практически любая сфера деятельности современного человека так или иначе связана с различными металлическими конструкциями, механизмами и изделиями. Поэтому задача моделирования поведения металлических материаловпри тех или иных условиях внешних воздействий является весьма актуальной. Известно, что при интенсивных неупругих деформациях происходят серьёзные изменения в зеренной структуре поликристаллов, в том числе формирование так называемой кристаллографической текстуры, то есть появление выделенных направлений в ориентациях кристаллических решеток отдельных зерен, что может порождать существенную анизотропию свойств материала на макроуровне. Кроме текстуры, при подобных деформациях наблюдаются эффекты дробления и фрагментации зёрен, влияющие на предел текучести материала. Перечисленные процессы связаны с разворотами решёток зёрен (ротациями), которые необходимо учитывать при эксплуатации металлических конструкции.Для этого создаются математические модели деформирования поликристаллических агрегатов, учитывающие механизмы ротацийкристаллических решёток [1].

[1] Публикация подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (грант 14-01-96008 р_урал_а) и гранта Президента РФ №МК-4917.2015.1.
© Тельканов М.А., Волегов П.С., 2016 г.

Целью данной работы является построение двухуровневой математической модели деформирования поликристалла, описывающей процессы ротаций кристаллических решеток зерен, и анализ разворотов решёток зёрен как одного из наиболее существенных релаксационных механизмов при неупругой деформации, а также описание фрагментации и дробления зёрен.

Элементом макроуровня в модели является представительный объём поликристалла исследуемого материала, элементами мезоуровня – монокристаллы. Подробное описание соотношений двухуровневой математической модели представлено в работе [2], в данной работе особое внимание уделим ротационным механизмам.

Для описания процессов ротаций кристаллитов применена модель, учитывающая несовместность пластических сдвигов в соседних зёрнах. Данная модель явным образом учитывает физические причины разворотов зёрен: они связаны с вращательным моментом, возникающим из-за появления на межзёренной границе дислокаций ориентационного несоответствия в результате перехода дислокаций из одного зерна в другое.

Спин решетки зерна состоит из двух слагаемых. Первое аналогично спину в модели стеснённого поворота по Тейлору [3] и отвечает за поворот решётки как жёсткого целого, а второе представляет из себя тензор, сопряжённый с вектором оси вращения решётки и отвечает за решёточный поворот. Таким образом, выражение для тензора спина принимает вид:

$$\boldsymbol{\omega} = \mathbf{w} - \mathbf{w}^{\mathbf{p}} = \mathbf{w} - \sum_{k=1}^{K} \frac{1}{2} \dot{\gamma}^{(k)} (\mathbf{n}^{(k)} \mathbf{b}^{(k)} - \mathbf{b}^{(k)} \mathbf{n}^{(k)}) - \mathbf{E} \cdot \mathbf{a}\,, \tag{1}$$

где $\mathbf{w}$ – тензор вихря, $\mathbf{n}^{(k)}$ и $\mathbf{b}^{(k)}$ – вектора нормали и Бюргерса для k-ой системы скольжения, $\mathbf{E}$ – тензор Леви-Чивита, $\mathbf{a}$ – мгновенная ось вращения решётки.

Реализация модели ротаций предполагает вычисление эволюции поверхностного вращательного вектора-момента, а затем переход к эквивалентной объёмной величине:

$$\begin{cases} (\dot{\mathbf{m}})^{l} = \lambda \mathbf{N}^{l} \times \left(\sum_{k}^{K} \dot{\gamma}^{(k)} \mathbf{n}^{(k)} \mathbf{b}^{(k)} - \sum_{j}^{K} \dot{\gamma}^{(j(l))} \mathbf{n}^{(j(l))} \mathbf{b}^{(j(l))} \right) \cdot \mathbf{N}^{l}\,, \\ \mathbf{M}_{(i)} = \dfrac{1}{V_{(i)}} \sum_{l=1}^{M} \left[\mathbf{m}^{l} S_{(i)}^{l} + \mathbf{r}^{l} \times \left(\mathbf{N}_{(i)}^{l} \cdot \boldsymbol{\sigma}_{(i)} \right) S_{(i)}^{l} \right], \end{cases} \tag{2}$$

где $\mathbf{m}^{l}$ – вектор поверхностного вращательного момента на границе с зерном l, $\mathbf{M}_{(i)}$ – объёмный вращательный момент, действующий на зерно i, λ – экспериментально определяемый параметр, $\mathbf{N}^{l}$ – внешняя для анализируемого зерна единичная нормаль к границе с соседним l-м зерном, $V_{(i)}$ – объём анализируемого зерна, $\mathbf{r}^{l}$ – радиус-вектор, проведённый от центра масс данного зерна к средней точке фасетки l, $S_{(i)}^{l}$ – площадь данной

фасетки. Мгновенная ось вращения решётки принимается соосной вектору объёмного момента, а скорость вращения пропорциональна его величине. В модели введён критерий начала пластических разворотов: они начинаются, когда объёмный вращательный момент достигнет некоторой критической величины, являющейся параметром материала.

С использованием разработанной модели проведён эксперимент по одноосному растяжению представительного объема поликристалла, состоящего из 512 зёрен, ориентированных особым образом: имелось 8 конгломератов, составленных из 64-х первоначально одинаково ориентированных зёрен. Таким образом, в представительном объёме поликристалла существует стык разноориентированных решёток, в этом месте и локализуются активные ротации. Параметры модельногоматериала соответствовали технически чистой меди.Проведено исследование зависимости количества зёрен, участвующих в ротациях, и средней скорости их вращения от интенсивности деформации (рис. 1).

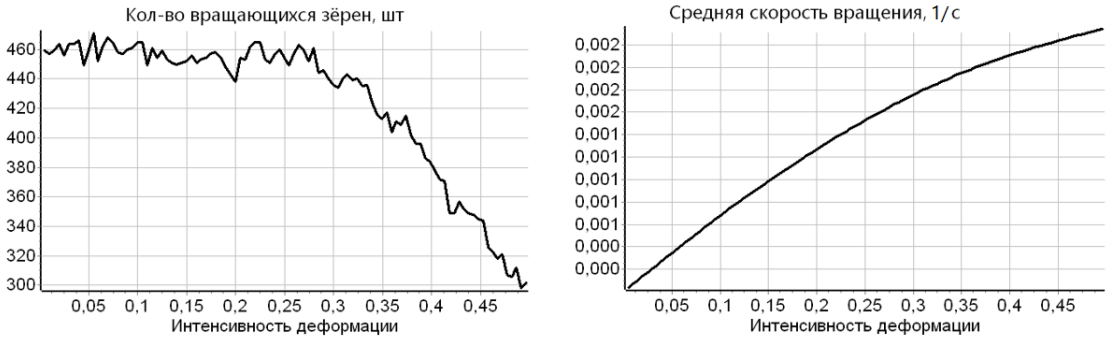


Рис. 1 Зависимости количества вращающихся зёрен и средней скорости вращения зёрен от интенсивности деформации

В результатебыл сделан следующий вывод: количество зёрен, принимающих участие в ротациях, с увеличением накопленной деформации снижается, в то время как скорость вращения решёток постепенно увеличивается. С точки зрения физики, это можно трактовать, как сохранение некоторой эквивалентной энергии: одни зёрна в процессе разворотов занимают положение с наименьшей энергией и прекращают вращение, а полная энергия системы, приходящаяся на вращение, распределяется между остальными зёрнами. Анализ построенных полюсных фигур (рис. 2, а-в) подтверждает полученные результаты: по ним видно, что скорость вращения зёрен на каждой следующей фигуре увеличивается. При дальнейшем продолжении растяжения (рис. 2, г) на полюсных фигурах проявляется характерная аксиальная текстура растяжения [1], что подтверждает адекватность используемой модели.

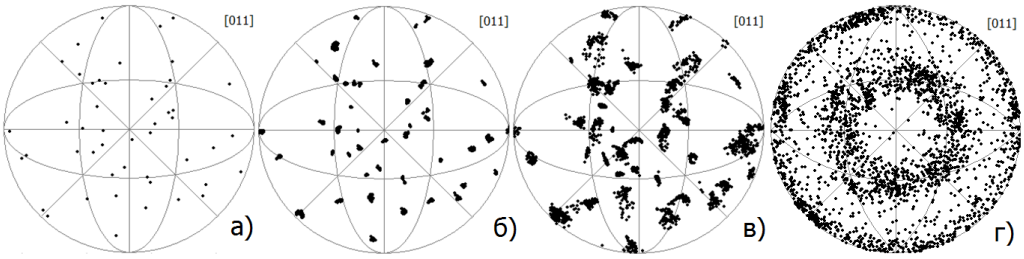


Рис. 2. Полюсные фигуры для направлений семейства [011]при интенсивности деформации 0%, 16%, 32% и 65%

Библиографический список

1. *Трусов П.В., Волегов П.С., Кондратьев Н.С.* Физические теории пластичности: учебное пособие. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. – 244 с.
2. *Трусов П.В., Волегов П.С.* Физические теории пластичности: приложение к описанию упрочнения в поликристаллах// Вестник Тамбовкого университета. Серия: Естественныеитехническиенауки. – 2010. – Т.15, №3-1n. – С. 983-984.
3. *Trusov P.V., Shveykin A.I., Nechaeva E.S., Volegov P.S.* Multilevel models of inelastic deformation of materials and their application for description of internal structure evolution// Physical Mesomechanics. – 2012. – Т. 15, № 3-4. – С. 155-175.

CRYSTALL LATTICE ROTATIONS AT POLYCRYSTALLINE INTENSIVE INELASTIC DEFORMATIONS

Telkanov Mikhail A., Volegov Pavel S.

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russian Federation, 614990, michaelperm@gmail.com

In this paper, mathematical model describing the deformation of representative volume of polycrystalline material is considered. The main mechanism of inelastic deformation at the mesolevel is dislocationslipping along the crystallographic slip systems. Hooke’s law in rate relaxation form used as the constitutive relations at the meso- and macrolevels. In this model, the Voigt hypothesis is used, according to which the strain rate tensors of all grains are equalto strain rate tensor of polycrystalline representative volume. Modified model associated with the incompatibility of plastic shears in neighboring grains used to describe lattice rotations. Numeric experiments with different deformation types of BCC and FCC polycrystallines carried out using the model. Stress-strain diagram and pole figures are built. Crystallographic textures and character of crystal lattice rotations discussed.

Key words: two-level models, crystal plasticity, polycrystalline, inelastic deformation, lattice rotation, incompatibility of plastic shears.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ

УДК 004.92

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАТОПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК РУДНИКОВ НА МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ

Буряк Никита Александрович, Кашников Алексей Валерьевич

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, bunikita@yandex.ru, alexey.kashnikov@gmail.com

Работа посвящена вопросам визуализации на мобильных устройствах результатов моделирования затопления горных выработок рудников, характеризующихся большим объёмом входных данных. Приводится описание существующих решений и их сравнение с разработанным приложением. В статье описаны функциональные возможности разработанного веб-приложения, позволяющего после предварительной обработки входных данных, экспортируемых из среды ArcGIS, производить визуализацию результатов моделирования средствами WebGL и отражать динамику затопления в зависимости от заданных начальных условий.

Ключевые слова: визуализация на мобильных устройствах, моделирование, WebGL, ArcGIS

В условиях широкого распространения различных портативных устройств возникает необходимость в мобильных версиях систем моделирования, позволяющих легко и быстро получать и анализировать большие и сверхбольшие объемы данных в режиме реального времени. Источниками таких данных обычно служат измерительные приборыи хранилища данных. Предприятия горнодобывающей отрасли постоянно сталкиваются с необходимостью решения таких вопросов ввиду сложной структуры подземных сооружений, значительного количества используемого оборудования и многоступенчатости технологических процессов. Одной из актуальных задач при этом является моделирование затопления горных выработок рудников.

Портативная система, выполняющая моделирование в реальном времени, необходима для прогнозирования негативных последствий затопления и принятия своевременных решений по их недопущению. При этом интерфейс системы должен быть адаптирован для использования максимально широким кругом специалистов (работники предприятия-недропользователя, сотрудники научных институтови проектных организаций, специалисты надзорных органов) и обеспечивать быстрое получение результатов без необходимости указания конечным пользователем большого количества параметров.

Данная статья описывает систему *PlastVis*, разработанную по заказу Горного института УрО РАН (г. Пермь), которая позволяетотображать данные из системы*ArcGIS*[1] в наиболее адекватное для решаемой задачи представление и выполнять качественную визуализацию

© Буряк Н.А., Кашников А.В., 2016 г.

происходящих в руднике процессов. Авторы данной статьи вошли в состав разработчиков указанной системы.

На текущий момент *ArcGIS* предоставляет широкий набор инструментов для создания статических карт, однако в нём отсутствует возможность демонстрации их изменения с течением времени [2], поэтому описываемое программное решение является весьма актуальным. Кроме того, приложение должно быть доступно не только на рабочем месте специалиста, но и в любой точке территории предприятия. Поэтому в основе реализации такой системы должен лежать графический стандарт, поддерживаемый как мобильными устройствами, так и стационарными компьютерами.

Стандартом, удовлетворяющим описанным выше требованиям, является*WebGL* – адаптация*OpenGLES*для использования в веб-приложениях, написанных на Javascript[3,4]. Этот стандарт активно развивается и поддерживается большинством современных браузеров, включая браузеры для мобильных устройств, что обеспечивает мультиплатформенность разрабатываемых приложений. За счёт поддержки низкоуровневых средств аппаратного ускорения графики часть кода, написанного с использованием WebGL, может выполняться непосредственно на видеопроцессорах, что позволяет добиться эффективной работы в режиме реального времени.

Система PlastVisпредназначена для наглядной визуализации динамики затопления участков шахтного поля рудника при различных параметрах притока воды и конфигурации выработок. Система состоит из двух приложений. Первое приложение предназначено для обработки входных данных, второе – для их визуализации (собственно веб-приложение).

Входные данные поступают в виде kml-файлов [5] (экспорт в данный формат поддерживается в системе *ArcGIS*), содержащих описания контуров картографических объектов в виде ломаных линий, представленныхнабором вершин с двумя пространственными координатами. Приложение-обработчик преобразует эти данные к формату, применимому для визуализации веб-приложением.

Приложение-обработчикреализует два режима работы: стационарный, позволяющий производить обработку на компьютере пользователя, и дистанционный, предоставляющий возможность производить обработку на сервере, на котором развёрнуто приложение, путём обращения к нему через *REST*-запрос [6].

Приложение для визуализации принимает исходные данные в формате *JSON*[7]. Оно позволяет отображать данные, отключать визуализацию отдельных графических слоев, менять проекцию, в зависимости от заданных параметров вычислять время затопления и демонстрировать динамику их изменения. Визуализациядинамики затопления

осуществляется на основе входных данных, указывающих порядок затопления участков рудника. Внешний вид приложения представлен на рис. 1.

Интерфейс веб-приложения содержит следующие элементы:

1. Рабочая область, в которой представлены графические слои и отображаются изолинии высотных отметок.
2. Дерево графических слоев, позволяющее скрывать или отображать слои с пластами и объектами наземной инфраструктуры.
3. Специальное поле для ввода значения притока воды (кубометры в час), используемое при расчете времени заполнения.
4. Специальное поле для вывода значения заполненного объема отработанного пространства (кубометры).
5. Ползунок со значениями высотных отметок, располагающихся в соответствии с очередностью заполнения.
6. Ползунок с временной шкалой.

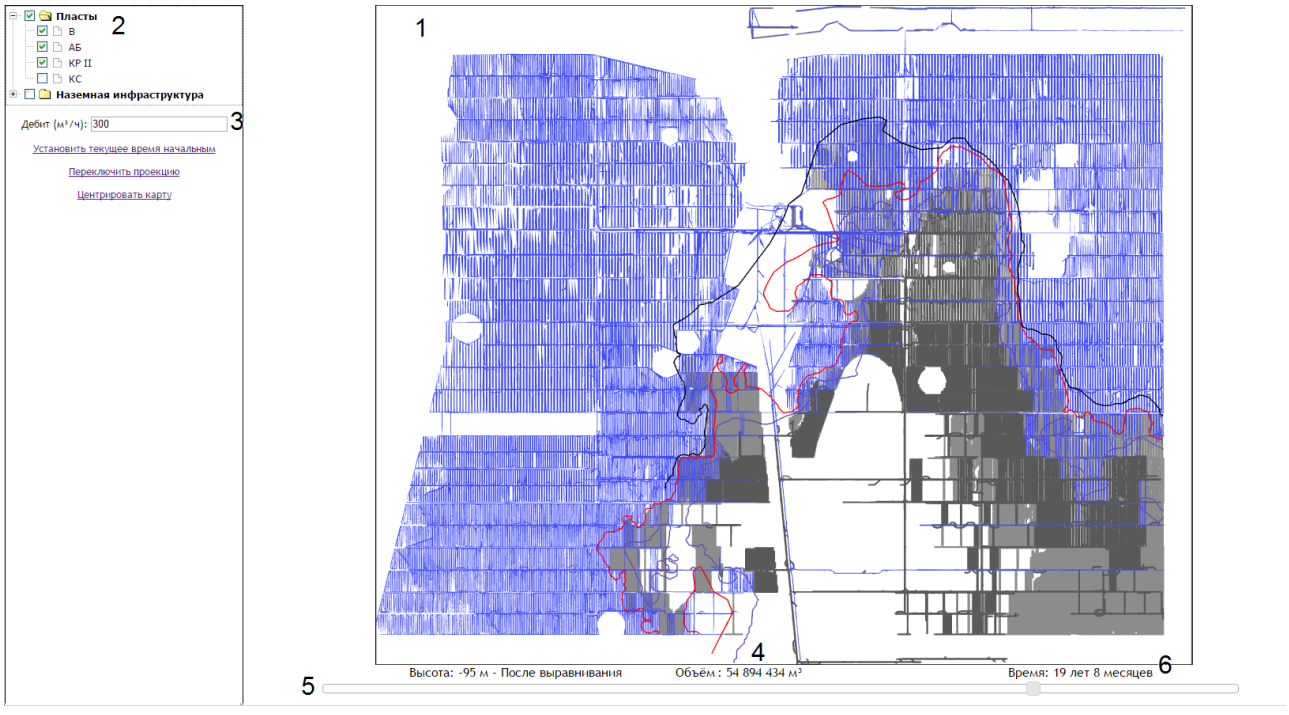


Рис. 1. Интерфейс веб-приложения *PlastVis*

Оба приложения инвариантны относительно входных данных и могут использоваться для визуализации процессов затопления на различных рудниках при условии, что данные, поступающие на вход приложения-обработчика, представлены в формате kml.

Библиографический список

1. ArcGIS| Главная // URL: https://www.arcgis.com (дата обращения: 30.03.2016).

2. ArcGIS| Приложения // URL: https://www.arcgis.com/features/apps/index.html (дата обращения: 30.03.2016).
3. WebGL 2 Specification // URL: https://www.khronos.org/registry/webgl/specs/latest/2.0/ (датаобращения: 30.03.2016).
4. Javascript.com // URL: https://www.javascript.com/ (дата обращения: 30.03.2016).
5. Keyhole Markup Language | Google Developers // URL: https://developers.google.com/kml/ (датаобращения: 30.03.2016).
6. REST–Википедия // URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/REST (дата обращения: 30.03.2016).
7. JSON // URL: http://www.json.org/json-ru.html (дата обращения: 30.03.2016).

VISUALISATION OF MINE FLOODING SIMULATION RESULTS ON MOBILE DEVICES

Buriak Nikita, Alexey Kashnikov

Perm State University, st. Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990,
bunikita@yandex.ru, alexey.kashnikov@gmail.com

The article is devoted to the visualization of mine flooding simulation results containing huge amount of input data. The developed web application implements WebGL-based visualization of preprocessed simulation results and facilitates performing required analytical calculations.

Key words: visualization on mobile devices, modeling, WebGL, ArcGIS

УДК 51-7+551.2

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНОВ ЗЕМЛИ

Долгая Анна Андреевна

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, 683006, Россия, г. Петропавловск-Камчатский, б. Пийпа, 9, ann-dolgaya@yandex.ru

В статье рассмотрены основные положения и результаты разработанного автором подхода к моделированию пространственно-временного распределения очагов землетрясений и извержений вулканов пределах тектонически активных поясов Земли. Исследование основано на рассмотрении развития сейсмического и/или вулканического процесса как одномерного случайного блуждания, порождаемого суммами взаимно независимых марковских цепей. Для проведения исследования был разработан и программно реализован метод ИМСиВА, с помощью которого было показано существование зависимостей между скоростными и энергетическими характеристиками геодинамического процесса. Наклон этих зависимостей оказался чувствителен к тектонической обстановке в регионе – сжатию или растяжению. Показано, что параметр p (коэффициент наклона зависимости) можно рассматривать как векторную сохраняющуюся геодинамическую величину.

Ключевые слова: землетрясения, извержения, миграция, марковские процессы, моделирование.

Геодинамический процесс в пределах тектонически активных зон планеты проявляется, в основном, в виде сейсмических и вулканических событий, распределенных вдоль длинных и узких поясов. Это позволяет моделировать развитие сейсмического и/или вулканического процесса как одномерную последовательность событий, происходящих вдоль осевой линии пояса в течение рассматриваемого периода времени. В теории случайных процессов такая модель соответствует одномерному случайному блужданию, порождаемому суммами взаимно независимых одинаково распределённых величин X_1, X_2, ..., X_n или цепями Маркова. Пусть S_0=0, S_n= X_1 + X_2 + ... + X_n, тогда последовательность координат (n, S_n), n=0, 1, 2, ..., описывает траекторию случайного блуждания. Для построения модели в рамках таких представлений необходимо было преобразовать двумерное пространственное распределение сейсмических и вулканических событий (в осях «широта, долгота») в одномерное. Для этой цели вдоль активных поясов Земли были построены осевые линии, проходящие через стыки литосферных плит, крупные разломы и места наибольшего скопления событий. Для каждой из линий было получено параметрическое уравнение интерполирующей кривой [1]. В результате стало возможным для каждого события определить расстояние l от его местонахождения до начала осевой линии.

© Долгая А.А., 2016 г.

В соответствии с моделью необходимо было выявить и проанализировать марковские цепи событий, формирующие в сумме геодинамическую активность. Для обеспечения условия окончания формирования цепи в модель вводились поглощающие экраны, накладывающие ограничения на допустимые значения координат событий, формирующих цепочки. Алгоритм разбиения всей совокупности анализируемых данных на случайные последовательности событий («цепочки миграции») в результате сводился к следующему: для каждого i–го события каталога со временем t_i и координатой l_i искалось такое i+1-е событие, время и координата которого удовлетворяли условиям $t_{i+1} \geq t_i, l_{i+1} \geq l_i$.

Описанный подход был формализован в виде вычислительного метода исследования миграции сейсмической и вулканической активности (ИМСиВА) [1], который был программно реализован в виде информационно-вычислительной системы «Migration_2» [2].

Метод ИМСиВА предполагает выполнение ряда этапов. Сначала формируется исходная выборка событий: определяется географический регион, временной интервал, диапазон магнитуд (индексов эксплозивности W для извержений) и глубин (только для землетрясений). Затем строятся координатные линии, вдоль которых изучается миграция сейсмической и вулканической активности. После этого осуществляется пересчет географических координат событий в расстояние вдоль линии l. После этого строятся миграционные цепочки очагов землетрясений и извержений вулканов. Для каждой миграционной цепочки определяется количество формирующих ее событий, продолжительность, протяженность. Миграционные цепочки на плоскостях с осями время t– расстояние l представляют собой хорошо аппроксимируемые линейной функцией ряды данных. Коэффициент наклона рассчитанной по методу наименьших квадратов линии тренда в данных осях имеет смысл производной расстояния по времени, то есть скорости миграции Vв км/ч. После выявления миграционных цепочек в различных энергетических диапазонах строятся итоговые таблицы, аккумулирующие все полученные характеристики цепочек миграции сейсмической и вулканической активности.

С помощью описанного метода исследовались особенности пространственно-временного распределения очагов землетрясений и извержений вулканов в пределах окраины Тихого океана (ТО), Альпийско-Гималайского пояса (АГП) и Срединно-Атлантического хребта (САХ). Анализ итоговых таблиц с данными о цепочках миграции очагов землетрясений и извержений вулканов в пределах трех перечисленных регионов показал, что средние значения скоростей миграцииV, полученные для каждого энергетического диапазона, зависят от энергетических характеристик процесса: M – магнитуды для землетрясений и W – индекса вулканической активности для извержений. Графически эти зависимости изображены на рисунке.

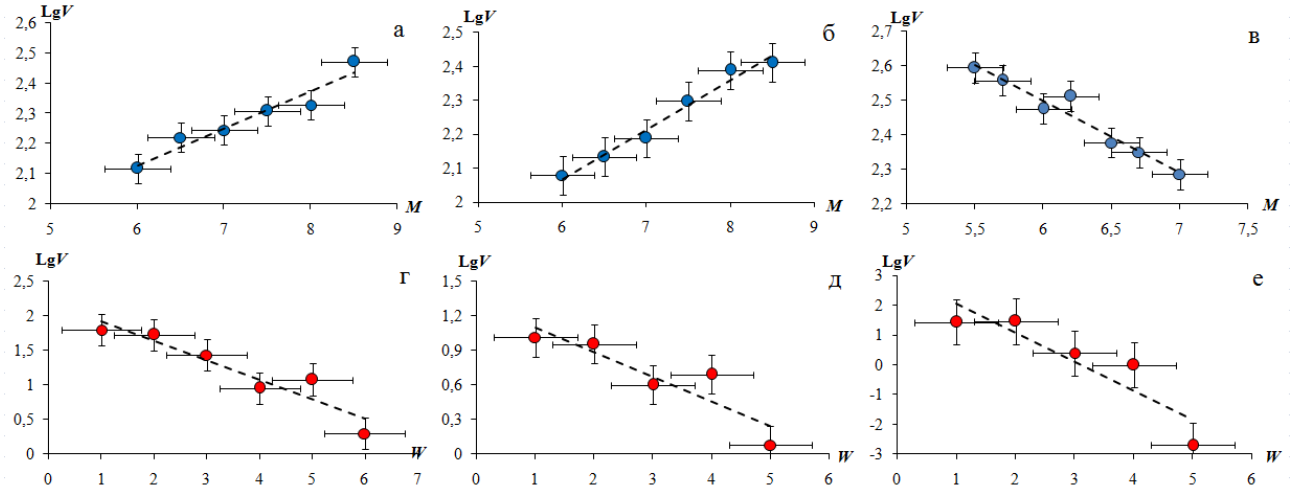


Рис. Зависимости скоростей миграции *V* очагов землетрясений (а, б, в) и вулканических извержений (г, д, е) от энергетических характеристик событий *M* и *W*. а) и г) – для окраины Тихого океана; б) и д) – для Альпийско-Гималайского пояса; в) и е) – для Срединно-Атлантического хребта.

Значения коэффициентов наклона выявленных зависимостей, полученные аналитически методом наименьших квадратов, представлены ниже:

$M \approx (7.6 \pm 1.0)\mathrm{Lg}V$; $M \approx (6.7 \pm 0.5)\mathrm{Lg}V$; $M \approx (-4.6 \pm 0.2)\mathrm{Lg}V$ (1 а, б, в)

$W \approx (-3.1 \pm 0.6)\mathrm{Lg}V$; $W \approx (-3.9 \pm 1.0)\mathrm{Lg}V$; $W \approx (-0.8 \pm 0.2)\mathrm{Lg}V$ (1 г, д, е)

Анализ выявленных зависимостей показал, что для регионов с разными тектоническими обстановками «сейсмические» зависимости Lg*V*(*M*) и Lg*V*(*W*) (рис.) имеют разный характер. Для областей сжатия (ТО и АГП) – коэффициент наклона зависимости (параметр *p*) имеет положительное значение (1 а, б), для области растяжения (САХ) – отрицательное (1 в). Это позволило авторам выдвинуть предположение о том, что параметр *p* является чувствительным к тектонической обстановке в регионе. При этом все «вулканические» зависимости имеют отрицательный наклон (1 г-е). По мнению авторов это можно объяснить тем, что вулканические пояса можно интерпретировать как зоны с преобладающими растягивающими напряжениями, вызванными поднимающейся при извержении из глубин магмой.

В результате верификации получаемых с помощью метода ИМСиВА данных было показано [1], что выявленные зависимости скорости миграции от магнитуды (1) являются не случайными «артефактами», а отражают реальные временные, пространственные и энергетические свойства геодинамического процесса.

Анализ значений коэффициентов«наклона» *p* показал[3], что сумма значений наклонов всех сейсмических и вулканических зависимостей с учетом точности их определения близка нулю при примерно равных по модулю средних «положительных» и «отрицательных» их значениях. Это позволяет интерпретировать параметр *p* как векторную сохраняющуюся

величину [3], которая в рамках ротационной модели движений геосреды [4] имеет смысл аналога момента импульса геодинамического процесса [5].

Библиографический список

1. *Долгая А.А., Викулин А.В., Герус А.И.* Моделирование пространственно-временных закономерностей геодинамического процесса методом ИМСиВА // Книга: Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XVIII ежегодной научной конференции, посвящённой Дню Вулканолога. Петропавловск-Камчатский, 2016. С. 132-137.
2. *Викулин А.В., Мелекесцев И.В., Акманова Д.Р.* и др. Информационно-вычислительная система моделирования сейсмического и вулканического процессов как основа изучения волновых геодинамических явлений // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17. №3. С 34-54.
3. *Vikulin A.V., Akmanova D.R., Vikulina S.A., Dolgaya A.A.* Migration of seismic and volcanic activity as display of wave geodynamic process // Geodynamics & Tectonophysics. 2012. V. 3. № 1. P. 1-18.
4. *Викулин А.В.* Физика волнового сейсмического процесса. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГПУ, 2003.
5. *Викулин А.В., Махмудов Х.Ф., Иванчин А.Г. и др*. О волновых и реидных свойствах земной коры // Физика твердого тела. 2016. Т. 58. №3. С. 547-557.

MATHEMATICAL MODELING OF MIGRATION OF EARTHQUAKES FOCI AND VOLCANIC ERUPTIONS OF THE EARTH

Dolgaya Anna A.

Institute of volcanology and seismology FEB RAS, blvd. Piipa, 9, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia, 683006, ann-dolgaya@yandex.ru

The article describes the basic provisions and the results of author's approach to modeling the spatio-temporal distribution of earthquakes foci and volcanic eruptions within the tectonically active zones of the Earth. The study is based on a consideration of the seismic and / or volcanic process as a one-dimensional random walk generated by sums of mutually independent Markov chains. "IMSiVA" method was designed and automatized to conduct the study. By means of this method the existence of relationships between velocity and energy characteristics of geodynamic processes was shown. The slope of these relationships proved to be sensitive to the tectonic setting of the region – compression or tension. It was shown that parameter *p* (slope coefficient) can be regarded as persistentvector geodynamic value.

Key words: earthquakes, eruptions, migration, Markov process, modeling.

УДК 004.92

ИНТЕГРАЦИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ШАХТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Кашников Алексей Валерьевич

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

Работа посвящена вопросам интеграции гетерогенных данных различных систем, используемых на горнодобывающих предприятиях, для создания комплексного программного инструмента для поддержки принятия решений в области шахтной вентиляции со средствами моделирования и оперативного мониторинга и управления.Рассматривается взаимосвязь горно-геологических информационных систем, комплексов моделирования вентиляционных сетей и систем автоматизированного управления технологическими процессами рудника. В результате решения данной задачи разработан аналитический комплекс «АэроСеть», предоставляющий полный набор инструментов для специалистов служб вентиляции рудников на предприятиях.

Ключевые слова: шахтная вентиляция, база данных, интеграция данных.

В процессе разработки и реализации технологических решений при эксплуатации подземного рудника специалистам необходимо получать сведения об одних и тех же объектах из баз данных различных систем. Это связано с тем, что весь спектр требуемой информации включает в себя различные по своей природе источники данных, пользовательский интерфейс для работы с которыми, как правило, содержит только ограниченный набор инструментов, предназначенный для решения текущих задач конкретного специалиста (подразделения).Решение данной междисциплинарной задачи предполагает использование подходов к управлению гетерогенными источниками данных при разработке алгоритмов управления процессами вентиляции подземных выработок.

Целью данной работы является интеграция разнородных источников данных (картографических, потоковых, расчетных) в программном комплексе «АэроСеть» для создания инструмента управления вентиляцией рудника (автор данной статьи входит в состав разработчиков комплекса). [2,3]

Рассмотрим комплекс информационных систем и автоматизированных систем управления технологическими процессами, используемых на горнодобывающем предприятии, информация из которых формирует целостную оперативную картину состояния шахтной вентиляции, и возможности их интеграции для создания системы поддержки принятия решений в данной области.

© Кашников А.В., 2016 г.

Структура шахтного поля является ключевой исходной информацией для реализации связанных с обеспечением проветривания задач. Основой представления информации о текущем продвижении фронта горных работ рудника является горно-геологическая информационная система. [1] Такая система содержит информацию о всех пройденных капитальных, подготовительных и очистных выработках, которые описываются набором координат вершин и геометрическими параметрами. Данные вносятся и актуализируются маркшейдерской службой рудника.

Для построения вентиляционной сети рудника такой объем данных является избыточным. На основе данных о конфигурации шахтного поля создается направленный граф выработок, где учитываются такие геометрические параметры, как длина, площадь сечения и периметр, что является достаточным для определения аэродинамического сопротивления, используемого в расчетах воздухораспределения. При построении вентиляционной сети учитываются лишь существенные для решения конкретной задачи выработки, а остальные заменяются эквивалентами (для упрощения расчетов и увязки сетей действующих рудников). Поэтому детализация вентиляционных сетей для одного и того же рудника может сильно отличаться. Как правило, объем геометрических данных для вентиляционной сети на один-два порядка меньше объема маркшейдерских данных.На рис.1 приведен фрагмент вентиляционной сети, построенный в аналитическом комплексе «АэроСеть».

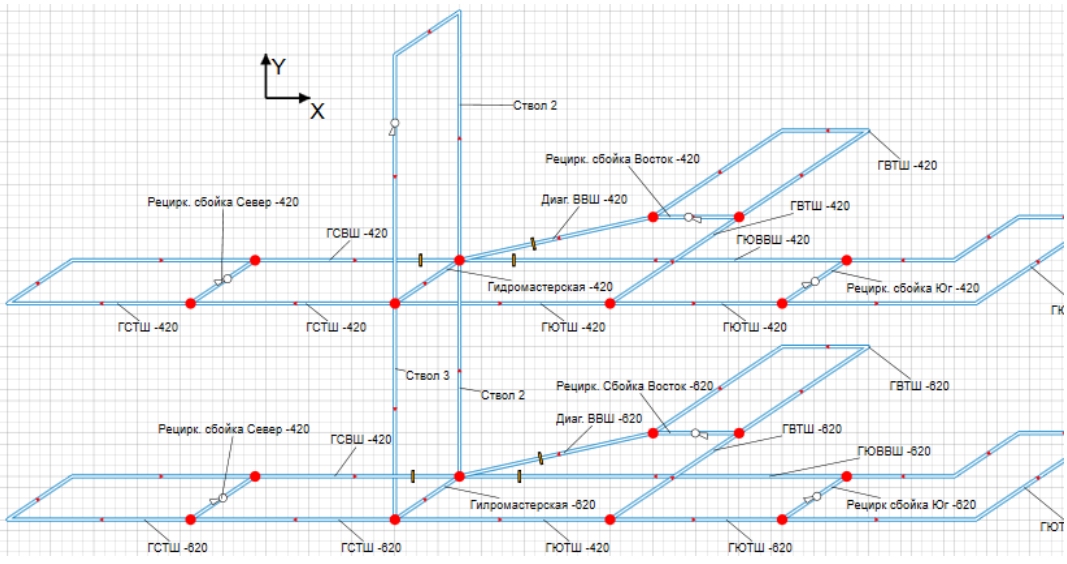


Рис. 3. Расположение элементов системы управления вентиляцией на расчетнойвентиляционной сети

Актуальным вопросом при этом является поддержание соответствия маркшейдерской модели рудника и вентиляционной сети.

Расчет вентиляционных сетей позволяет определить дополнительные атрибуты выработок, необходимые для решения вентиляционных задач: расход воздуха, перепад

давления, температуру, влажность. Пользователями системы расчета вентиляционных сетей выступают службы вентиляции рудника.

Система автоматического управления проветриваниемпозволяет получить фактическую картину распределения воздуха в конкретный момент времени за счет получения данных с приборов измерения расхода воздуха, установленных в шахте. [4]Регуляторы и датчики формируют поток данных с интервалом в несколько секунд, поэтому в итоге формируется база данных непрерывных измерений параметров вентиляции рудника. Пользователями данной системы являются диспетчеры рудника.

Суть работы системы автоматического управления проветриваниемзаключается в обеспечении рабочих зон требуемым количеством воздуха при минимальных энергетических затратах. Для расчета требуемых показателей используется более удобное для данной задачи иерархическое представление конфигурации шахтного поля. Данный интерфейс т.н. «электронной методики» используется службами вентиляции рудника (интерфейс системы представлен на рис. 2).

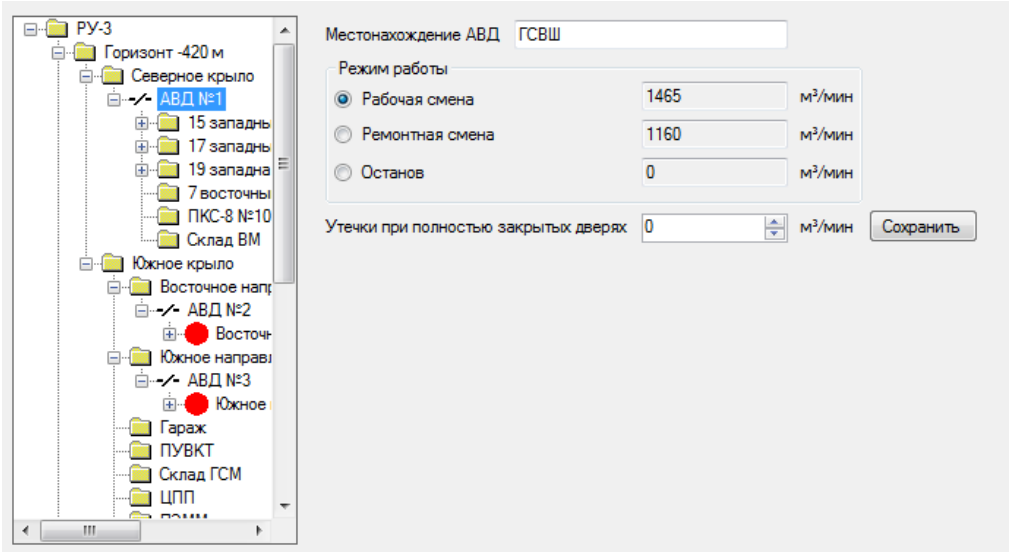


Рис. 2. Расположение элементов системы управления проветриванием в иерархической структуре

Зарубежные авторы рассматривают, как правило, вопросы интеграции модели вентиляционной сети и данных, получаемых в реальном времени с датчиков, установленных в выработках. [5] Однако, это является лишь одним из аспектов формирования полной картины проветривания шахты. Комплексное решение вентиляционных задач предполагает интеграцию всех описанныхисточников данных в некотором едином интерфейсе. Интегрированный интерфейс разработан в аналитическом комплексе «АэроСеть», основной функцией которого является моделирование процессов вентиляции рудника. Комплекс реализует следующие направления движения данных.

1. Преобразование координат и геометрических параметров выработок из горно-геологической информационной системы в вентиляционную сеть.

В качестве формата для импорта данных используется формат KML, являющийся расширением языка разметки XML и предназначенный для представления картографических данных. Импорт осуществляется по мере продвижения горных работ, существенного с точки зрения проветривания (определяется специалистом). При этом импортированные ранее ветви модели вентиляционной сети, определяемые по идентификаторам, остаются без изменения. Импорту подлежат только выработки, которых ранее не было в схеме.

2. Распределение полученных из системы управления значений расходов воздуха по всем выработкам вентиляционной сети на основе специальных алгоритмов для реализации онлайн-мониторинга.

Данные из системы автоматического управления проветриванием, реализованной на базе SCADA-системы (например, WinCC), с заданной периодичностью (как правило, несколько десятков секунд) экспортируются в реляционную базу данных, к которой подключается комплекс «АэроСеть». Связь между оперативными замерами и ветвями вентиляционной сети так же устанавливается посредством идентификаторов.

3. Использование рассчитанных требуемых значений для контроля обеспеченности рабочих зон свежим воздухом при моделировании и онлайн-мониторинге.

Данные расчета требуемых значений количества воздуха из «электронной методики» импортируются в комплекс «АэроСеть» в виде XML-файла, содержащего данные в формате «идентификатор ветви – значение количества воздуха». Импорт осуществляется при каждом новом расчете, периодичность которого обуславливается действующими регламентными документами (как правило, один раз в месяц).

Подход, описанный в данной работе, позволяет собрать все требуемые актуальные данные, необходимые службе вентиляции рудника, в едином рабочем окне с исчерпывающим набором инструментов обработки этих данных.

Библиографический список

1. ArcGIS| Главная // URL: https://www.arcgis.com (дата обращения: 30.03.2016).
2. *Кашников А.В.* Модель информационной системы управления вентиляцией рудников горнодобывающего предприятия. // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 10. Пермь, ГИ УрО РАН, 2012. С. 275-277.
3. *Кашников А.В.* Использование информационно-аналитической системы «АэроСеть» в качестве платформы для автоматизации взаимодействия горнодобывающего предприятия и научной организации в области вентиляции. / Кашников А.В., Круглов Ю.В., Киряков А.С. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-

технический журнал). М., Издательство Московского государственного горного университета, 2011. № 4. С. 207-210.

4. *Круглов Ю.В.*Основы построения оптимальных систем автоматического управления проветриванием подземных рудников. /Круглов Ю.В., Левин Л.Ю. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2010. — № 2. — С. 104 — 109.
5. Gillies, A. D. S. Development of a real time airflow monitoring and control system. /Gillies, A. D., S., Wu, H. W., Tuffs, N. and Sartor, T. // Proceedings Tenth US/Northern American Mine Ventilation Symposium, 2004.C. 145-156

INTEGRATION OF HETEROGENEOUS DATA FOR MINE VENTILATION TASKS

Alexey Kashnikov

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

The article presents results of data integration from different systems used in mining companies. The purpose of integration is to develop a mine ventilation decision support tool, which provides simulation and real-time monitoring and control facilities.

Key words: mine ventilation, database, data integration.

УДК 531/534:[57+61]

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КЛАСТЕРОВ БАКТЕРИЙ В СИСТЕМЕ ВОДА-БАКТЕРИИ-УГЛЕВОДОРОД

Феоктистова Екатерина Валерьевна, Осипенко Михаил Анатольевич

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

Куюкина Мария Станиславовна, Рубцова Екатерина Владиславовна

Институт Экологии и Генетики Микроорганизмов УрО РАН, 614081, Россия, г. Пермь, ул. Голева, д. 13, kuyukina@iegm.ru

Рассматривается математическая модель формирования плёнки бактерий рода Rhodococcus на границе раздела клеточной суспензии и жидкого углеводорода. Это формирование приводит к своеобразной временной зависимости межфазного натяжения, которую можно экспериментально измерить методом отрыва кольца. Если концентрация бактерий в суспензии невелика, то межфазное натяжение со временем монотонно убывает. Если концентрация достаточно велика, то в определенный момент времени монотонное убывание сменяется случайными осцилляциями; через некоторый промежуток времени монотонное убывание восстанавливается. В предложенной математической модели такая зависимость объясняется лавинообразным возникновением единого кластера клеток, что в отсутствие измерений привело бы к скачкообразному уменьшению межфазного натяжения, а в присутствии измерительного кольца приводит к случайным осцилляциям натяжения за счет случайного взаимодействия кольца с пленкой бактерий. Таким образом, в данном случае процесс измерения влияет на измеряемую величину. Численные расчеты, проведенные в рамках данной модели методом Монте-Карло, показывают хорошее соответствие теории экспериментальным данным.

Ключевые слова: Rhodococcus, бактериальная пленка, межфазное натяжение, бактериальный кластер, математическая модель, метод Монте-Карло.

Актинобактерии рода Rhodococcus являются представителями группы микроорганизмов, окисляющих природные и антропогенные углеводороды и, следовательно, участвующих в различных биогеохимических процессах и формировании углеводородной атмосферы Земли [1-2].

Бактерии рода Rhodococcus способны к окислению углеводородов нефти, смол, фенольных и полихлорированных соединений, гумусовых веществ, лигнина и его производных, восков, пестицидов и др. Некоторые родококки способны усваивать непредельные углеводородные соединения.

Реализация биотехнологического потенциала родококков предусматривает всестороннее изучение механизмов их адгезии к различным веществам. При этом

© Феоктистова Е.В., Осипенко М.А., Куюкина М.С., Рубцова Е.В., 2016 г.

характерным явлением, которое в настоящее время интенсивно исследуется, оказывается формирование биопленок [3], в особенности на границе раздела жидких фаз [4-5]. В частности, в лаборатории алканотрофных микроорганизмов Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН (г. Пермь) изучаются закономерности адгезии клеток родококков к жидким н-алканам. С помощью установки Sigma 701 проведен эксперимент по измерению методом отрыва кольца межфазного натяжения в системе «н-гексадекан – клеточная суспензия R. ruber ИЭГМ 123». Эксперимент показывает, что с течением времени межфазное натяжение в среднем уменьшается (за счет адгезии клеток к межфазной границе), но в определенном временном интервале его изменение имеет случайный, быстроосциллирующий характер.

Целью настоящей работы является построение теоретического объяснения этой своеобразной зависимости.

Предполагается, что концентрация клеток на межфазной границе $n(t) = n_1\left(1-\exp\left(-t/t_1\right)\right)$, где t – время; n_1, t_1 – постоянные. Межфазное натяжение $\sigma(t) = \sigma_0 - \left(\sigma_0 - \sigma_1(s(n(t)))\right)n(t)/n_1$,где $\sigma_1(s) = \sigma_{10} - \left(\sigma_{10} - \sigma_{11}\right)s$; $0 \le s(n) \le 1$ – случайная величина (степень образования единой биопленки) со средним значением и среднеквадратическим отклонением, соответственно,

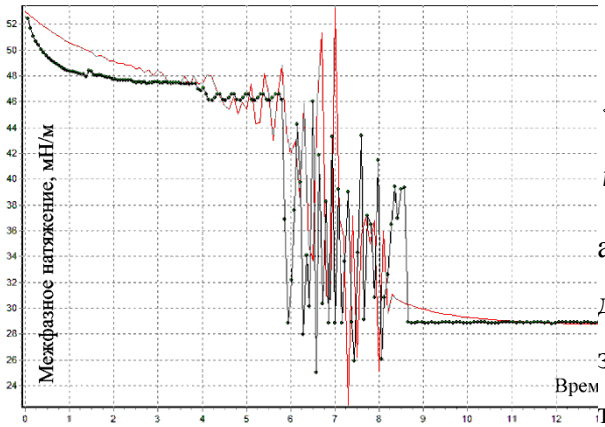
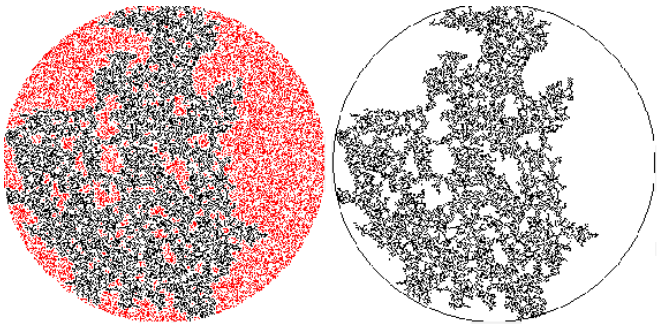


Рис 1. Зависимость межфазного натяжения от времени

$\mathbf{M}s(n) = 1/2 + \left(1/\pi\right)\mathrm{arctg}\left(\left(n-n_2\right)/n_3\right)$,

$\sqrt{\mathbf{D}s(n)} = An^{2B}(1-n)^B$, где σ_0, σ_{10}, σ_{11}, n_2, n_3, A, B – постоянные. Построенная модель адекватно описывает экспериментальные данные; соответствующая теоретическая зависимость приведена на рисунке (более тонкая линия, не проходящая непосредственно через точки).



а **б**

Рис.2. **а** – скопление бактерий; **б** – наибольший кластер

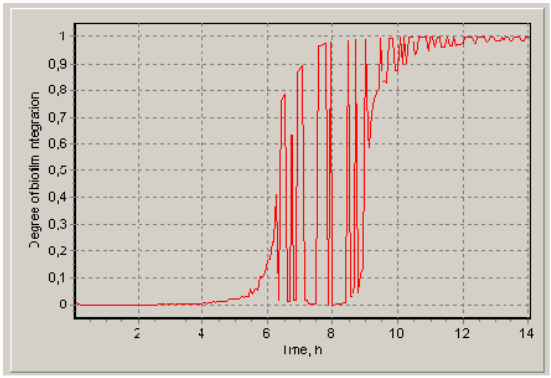


Рис 3. Степень разрушения кольцом пленки бактерий

По мере накопления клеток на межфазной границе, межфазное натяжения постепенно уменьшается. При достаточно большой концентрации возникают качественно новые явления. Во-первых, за счёт межклеточного взаимодействия формируются клеточные кластеры (рис. 2), которые при некотором критическом значении концентрации объединяются в один кластер. Во-вторых, измерительное кольцо при каждом измерении случайным образом разрушает этот кластер. В отсутствие измерений межфазное натяжение снижалось бы плавно. При наличии разрушения межфазное натяжение меняется случайно и скачкообразно (рис. 3). При дальнейшем увеличении концентрации кольцо уже не может разрушить кластер, и возобновляется плавное снижение межфазного натяжения. Практически моделирование указанных случайных процессов проводилось методом Монте-Карло.

Результаты. Полученная математическая зависимость полностью соответствует имеющимся экспериментальным данным.

Вывод. Нами был смоделирован эксперимент, но модель допускает дальнейшее развитие, которое должно состоять в уточнении механизма межклеточного взаимодействия, приводящего к образованию кластеров.

Исследования поддержаны грантами НШ-5589.2012.4 и РНФ 14-14-00643.

Библиографический список

1. *Ившина И.Б., Пшеничнов Р.А., Оборин А.А.* Пропан-окисляющие родококки. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987, 125 с.
2. *Kuykina M.S., Ivshina I.B.* Application of Rhodococcus in bioremediation of contaminated environments // Microbiology Monoggraphs / Ed. A. Steinbuchel. – Springer-Verlag, Dordrecht, London, New York, 2010. – Vol. 16. – P. 231-262.
3. *Николаев Ю.А., Плакунов В.К.* Биопленка – «город микробов» или аналог многоклеточного организма? // Микробиология, 2007, Т.76, № 2, С. 149–163.

4. *Kang Z., Yeung A., Foght J.M., Gray M.R.* Mechanical properties of hexadecane–water interfaces with adsorbed hydrophobic bacteria // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 62 (2008), P. 273–279.
5. *Kang Z., Yeung A., Foght J.M., Gray M.R.* Hydrophobic bacteria at the hexadecane–water interface: examination of micrometre scale interfacial properties // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 67 (2008), P. 59–66

MATHEMATICAL MODEL OF CLUSTER FORMATION OF BACTERIA IN THE WATER-HYDROCARBON-BACTERIA

FeoktistovaE.V., Osipenko M.A.

PERMNATIONALRESEARCHPOLYTECHNICUNIVERSITY, 614000, Russia, Perm, Komsomol prospect, 29, Ekaterina_feoktistova@bk.ru

Kuyukina M.S., Rubtsova E.V.

INSTITUTE OF ECOLOGY AND GENETICS OF MICROORGANISMS, URAL BRANCH, 614081, PERM, st. Goleva, 13, kuyukina@iegm.ru

The mathematical model of forming the Rhodococcus bacteria film at the cell suspension and liquid hydrocarbon interface is considered. The formation of the film results in the original time dependence of the interfacial tension. This dependence can be measured experimentally by means of the anchor-ring method. If the bacterium concentration in the suspension is not too large, the interfacial tension decreases monotonically with time. If this concentration is sufficiently large, the monotone decrease changes into random oscillations at the certain instant. In some interval the monotone dependence restores. In the proposed model this dependence is explained by the avalanche-like formation of the single bacterial cluster. In the absence of the measuring ring this formation would result in the stepwise decrease of the interfacial tension. But in the presence of the ring the random oscillations of tension occur due to the random ring – bacterial film interaction. Thus, in this case the measuring process has an influence upon the measured quantity. The numerical calculations carried out by the Monte Carlo method within the bounds of the model under consideration show the good agreement between the theory and experimental data.

Key words: Rhodococcus, bacterial film, interfacial tension, bacterial cluster, mathematical model, Monte Carlo method.

УДК553.08,004.9

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК БАЗАЛЬТОВОГО СЫРЬЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Хамитова Анна Николаевна

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

В настоящее время большая часть исследований, связанных с базальтовым сырьем, направлена на изучение особенностей процесса получения стекол и волокон. Физико-химические свойства базальтовых волокон в литературе описаны недостаточно. Поэтому данная работа посвящена выявлению зависимости свойств базальтовых расплавов (вязкость, кристаллизация) от химического состава и некоторых физических характеристикгорных пород.Для интеллектуального анализа данных проб из месторождений Пермского края был выбранстатистический метод кластеризации, позволяющий разбить все месторождения на связные группы (кластеры). В дальнейшем при помощи модели, разработанной Джордано, Расселлом и Дингвеллом[2], был произведен расчет вязкости и температуры кристаллизации всех имеющихся проб из месторождений. В результате чего была выявлена модель смеси, включающая в себя коэффициенты для шихтования исходных образцов, в целях получения более качественного сырья. А также построен прогноз для теоретической вязкости и температуры кристаллизации, полученной в ходе шихтования смеси.

Ключевые слова: вязкость, базальтовое волокно, кристаллизация, кластеризация, шихтование.

В настоящее время в мире качественное базальтовое непрерывное волокно (БНВ) представляет большойинтерес[5], что связано с рядом факторов:

- БНВ имеют ряд характеристик, которые выгодно отличают их от стекловолокна по прочности, химической стойкости и температуре применения;
- по своим характеристикам БНВ занимает промежуточное положение между стекловолокном и углеродными волокнами;
- доступность и дешевизна базальтовых пород – исходного сырья для производства БНВ;
- развитие технологий и оборудования для производства БНВ за последние годы позволяют обеспечить себестоимость промышленного производства ниже уровня производства стекловолокна.

Геологами с кафедры минералогии и петрографии ПГНИУ была разработана методика оценки минерально-сырьевой базы Пермского края[1]. Петрохимические показатели проб были использованыдля первоначального анализа данных по средствам описательной статистики о соответствии данных проб эталонным образцам с наилучшими показателями для изготовления БНВили минеральной ваты[4]. В результате только 4 пробы из 68 соответствуют характеристикам хотя бы одного из 3 эталонных образцов.

© Хамитова А.Н., 2016 г.

То есть большинство проб из месторождений Горнозаводского района Пермского края не подходят для производства БНВ или минеральной ваты по каким-либо характеристикам, в последствие нами была выдвинута гипотеза, что при шихтовании исходных минеральных проб в определенных заранее пропорциях их физические показатели улучшатся.

Каждая проба характеризуется несколькими количественными показателями, характеризующими ее химические и термические свойства (процентное содержания кремния, алюминия и т.д., начало плавления, пик, конец плавления). Поэтому для решения поставленной задачи был выбран кластерный анализ[3], позволяющий образовать группы (кластеры) проб, однородные по своим характеристикам, снизить размерность признакового пространства и наглядно представить результат. После чего для каждого новой пробы определяется место в этой классификации путем отнесения к одному из кластеров. Далее мы можем провести сравнение результатов кластеризации с реальным распределением проб по месторождениям.

Было выделено 5 кластеров: к 0 кластеру отнесено 44 элемента – пробы, к 1 кластеру отнесено 16 элементов – проб, ко 2 кластеру – 1 элемент, к 3 кластеру – 6 элементов, к 4 кластеру – 1 элемент. По результатам было проведено отсеивание проб. Так же были реализованы базовые методы описательной статистики для петрохимических характеристик кластеров. Как выяснилось, только кластер 1 и кластер 0 попадают в интервалы характеристик эталонов.

Для расчета вязкости воспользовалисьмоделью, разработанной Джордано, Расселлом и Дингвеллом [2]. Модель основана на статистической обработке более чем 1770 экспериментальных измерений вязкости в широком спектре природных силикатных расплавов и синтетических смесей. Она покрывает диапазон вязкости от 10^{-1} до 10^{14} Pas, включает расплавы, содержащие летучие компоненты – воду и фтор и, помимо вязкости, позволяет рассчитать температуру стеклования Tg, при которой переохлажденная силикатная жидкость переходит в состояние твердого стекла. Формулы для расчета вязкости и температуры кристаллизации[2]:

$$\log \eta = A + \frac{B}{T(K) - C} \quad (1)$$

$$m = \frac{B}{T_q(1 - C/T_q)^2} \quad (2)$$

Где η –вязкость пробы, m– температура кристаллизации пробы, А – константа, Ви С рассчитываются с помощью таблицы коэффициентовдля оксидов, выведенной в результате экспериментальных измерений, T_q– температура стеклования пробы.[2]

Температура кристаллизации и вязкость являются наиболее важными технологическими характеристиками базальтовых расплавов, определяющими возможность

их использования для производства непрерывного базальтового волокна. То есть, имея расчетные значения химического состава шихты из исходных материалов, мы сможем посчитать теоретическую вязкость и температуру кристаллизации нового сырья, полученного в процессе шихтования.

Таким образом,предложена методика, которая на основании эталонных значений оксидов в базальтовом сырье позволяет провести оценку параметров для производства шихты с лучшими характеристиками, и спрогнозированы вязкость и температура кристаллизации нового сырья. Предполагается, что данная методика, может быть использована для созданиясырья с новыми характеристиками из базальтовых месторождений Пермского края.

Библиографический список

1. *БлиновС.М., ВагановС.С.,Векслер И.В.,* Минерально-сырьевая база Пермского края для производства базальтового волокна: справочник / под ред. Р.Г. Ибламинова; Перм. гос. нац. ис-след. ун-т. – Пермь, 2015. – 269 с.
2. *Giordano D., Russell J.K., Dingwell D.B.* Viscosity of magmatic liquids: A model.// Earth and Planetary Science Letters, 2008, 271, 123–134.
3. *Anderberg M.* Cluster Analysis for Applications. – New York: Academic Press., 1973.
4. *Андерсон Т.* Введение в многомерный статистический анализ. – М.:Физматгиз, 1963.
5. Джигирис Д. Д., Махова М.Ф. Основы производства базальтовых волокон и изделий. М.: Теплоэнергетик, 2002. 416 с.

ASSESSMENT OF CHARACTERISTICS OF BASALT RAW MATERIALS OF FIELDS OF THE PERM REGION

KhamitovaAnnaN.

PermStateUniversity, st. Bukireva, 15, Perm,Russia, 614990, ann.hamitova@gmail.com

Now the most part of the researches connected with basalt raw materials is directed to studying of features of process of receiving glasses and fibers of basalt. Physical and chemical properties of basalt fibers in literature are described insufficiently. Therefore this work is devoted to detection of dependence of properties of basalt fusions (viscosity, fragility) from a chemical composition and some physical characteristics of rocks. For data mining of tests the statistical method of a clustering allowing to break all fields into coherent groups (clusters) has been chosen from fields of Perm Region. Further by means of the model developed by Giordano, Russell and Dingvell [2] calculation of viscosity and fragility of all available tests from fields has been made. Therefore the mix model including coefficients for a fusion mixture of initial samples for receiving better raw materials has been revealed. And also the forecast for theoretical viscosity and fragility of the mix received during thefusion mixture is constructed.

Key words: viscosity, fragility, basalt raw materials, silicate melts, fusion mixture, clustering

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЖИЗНЬ ЧЕЛОВЕКА

УДК 81'32

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭМОЦИОНАЛЬНОСТИ РЕЧИ НА ОСНОВЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ И ПЕРВООБРАЗНЫХ ЗВУКОВЫХ ВОЛН

Бахтин Вадим Вячеславович

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15,bakhtin94@bk.ru

В статье рассматривается разработка и реализация алгоритмов анализа эмоциональности речи, которые используютпроизводные и первообразные функции звуковых волн, а также другие функции, построенные на основе исходной функции звуковой волны. Разработанный алгоритм позволяет идентифицировать эмоциональность речи в базисе, состоящем из 4 эмоций: радость, грусть, возбуждение и торможение процессов мозговой активности. Эти эмоции составляют базис, если их объединить в пары антонимичных эмоций. Для идентификации строятся шаблоны слов с преобладанием конкретной эмоции, каждое слово в фрагменте будет сравниваться со всеми шаблонами слов, имеющих соответствующую длину, используя методы визуального и программного анализа. Каждое слово будет сопоставлено с одной эмоцией из каждой пары, и результирующие вектора этого сопоставления дают ответ на вопрос: какие именно эмоции преобладают в данном фрагменте речи. Этот метод может найти практическое применение в сферах, связанных с необходимостью быстро определить состояние человека.

Ключевые слова: анализ речи, производная звуковой волны, первообразная звуковой волны, эмоциональность речи.

Введение

Речь – существенный элемент человеческой деятельности, позволяющий человеку познавать окружающий мир, передавать свои знания и опыт другим людям. Устная составляющая речи проявляется в виде высказываний в звуковой форме, которые возможны благодаря голосовому аппарату человека[1]. Помимо мыслей, мы используем речь для передачи своих чувств, а именно задействуем речь для передачи своих эмоций.

Задача определения эмоций по голосу поставлена не так давно и активно исследуется в настоящее время. Распознавание эмоции по голосу, как правило, сводится к решению следующих подзадач: разбиение эмоции на части и составление «шаблона», а так же поиск данного шаблона в звуковой записи. Имеются и другие подходы для распознавания эмоций, например, на основе исследования энтропии звуковой волны[2].

В данной работе исследования производятся на основе производной и первообразной функции звуковой волны, так как предполагалось, что это позволит получить дополнительную информацию об эмоциональном состоянии говорящего. Так эмоционально

© Бахтин В.В., 2016 г.

говорящий, часто резко меняет тон, например, с низкого на высокий. Производная по определению является скоростью изменения исходной функции, соответственно, для звуковой волны она как раз показывает особенности изменения тона.

Инициализация эмоций в речи находит много применений, например:

• Анализ разговоров клиентов и сотрудников в компаниях, имеющих call-центры.

• Обеспечение безопасности граждан, в том числе информационной.

• Судебно-медицинская экспертиза и проверка на состояние аффекта

Цель работы:

Разработать и протестировать метод идентификации эмоциональности речи на основе производных и первообразных функций звуковых волн.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать метод идентификации эмоциональности речи на основе производных и первообразных функции звуковой волны.

2. Реализовать необходимые алгоритмы.

3. Протестировать метод на реальном звуковом фрагменте.

Методика создания шаблонов эмоций

В качестве шаблонов эмоций выбираются слова, заранее произнесенные с определенной интонацией, в данном исследовании в качестве базиса были использованы две пары антонимичных эмоций: радость и грусть, возбуждение и спокойствие (торможение).Первая пара эмоций отражает, с каким настроением человек высказывает свои мысли.Вторая пара эмоций обозначает состояние психической активности мозга человека. Каждое из слов-шаблонов проходит анализ программными средствами, построение функций:

1. Функция звуковой волны. Находится последовательным считыванием целочисленных значений непосредственно из wav-файла
2. Производная звуковой волны. Рассчитывается по следующей формуле: $y^{'}(x_{i+1}) = (y_{i+1} - y_i)/\Delta t$, где y_{i+1} и y_i – амплитуды звуковой волны в соседние момента квантования, Δt – период колебаний, величина обратная частоте дискретизации.
3. Первообразная звуковой волны. Рассчитывается по следующей формуле:$Y(x_{i+1}) = \frac{y_{i+1}}{\Delta t} + Y_i$, где y_{i+1} – амплитуда звуковой волны в текущей момент квантования, Y_i - значение первообразной в предыдущий момент квантования, Δt – период колебаний, величина обратная частоте дискретизации.

4. Положительная огибающая звуковой волны. Для расчета огибающей используется интерполяция методом Лагранжа. На каждую тысячу значений выбирается максимум, а на основе имеющихся максимумов рассчитывается полином Лагранжа второй степени (интерполяция по трем точкам), с помощью которого рассчитываются все остальные значения огибающей.
5. Производная огибающей звуковой волны.
6. Первообразная огибающей звуковой волны.

Все эти функции станут эталонными показателями каждой из четырех эмоций, которые будут использоваться в дальнейшем исследовании.

Методика сравнения слов с шаблонами

Сравнение будет производиться для каждого слова в исследуемом фрагменте. Слово будет сравниваться с эталонным словом с соответствующим количеством слогов.Для сравнения слов с эталонным будут применены три метода сравнения:

1. Визуальное выделение одинаковых фрагментов кривых и отнесение слова к эмоции.

2. Программное сравнение файлов функций с файлами эталонных эмоций, методом выделения наиболее длинной последовательности целочисленных значений в файле функции, близких к целочисленным значениям файла эталонной эмоции.

3. Программное сравнение файлов функций с файлами эталонных эмоций, методом подсчета максимального количества целочисленных значений функции фрагмента, близких к целочисленным значениям функции эталонной эмоции.

По результатам этих трех сравнений для каждой из шести функций слова из фрагмента будет составлена таблица, по которой будет происходить отнесение базовой эмоции.

Реализация алгоритмов

В программах, которые отвечают за сравнение файлов функций с файлами эталонных эмоций, сравнение производится по следующим алгоритмам.Сравнение методом подсчета количества целочисленных значений происходит по следующему алгоритму:

1. Происходит считывание целочисленных значений параллельно из трех файлов: файла с фрагментом, который подлежит анализу, два файла с антонимичными шаблонами эмоций для слова с аналогичным количеством слогов.

2. Рассчитываются две разности: между считанным из исследуемого файла значением и значениями, считанными из файлов эталонных эмоций, находится абсолютное значение этих разностей

3. Происходит сравнение их значений, и счетчик, соответствующий разности с большим абсолютным значением, увеличивается на единицу.

4. После окончания считывания файлов происходит сравнение этих счетчиков, результатом анализа будет та эмоция, соответствующий счетчик которой больше.

Сравнение методом выделения наиболее длинной последовательности целочисленных значений происходит следующим образом:

1. Происходит считывание целочисленных значений параллельно из трех файлов: файла с фрагментом, который подлежит анализу, два файла с антонимичными шаблонами эмоций для слова с аналогичным количеством слогов.

2. Используя метод сравнения разностей, описанный в вышеназванном алгоритме, выделяется наиболее длинная последовательность из целочисленных значений, ассоциированных с одной эмоцией.

3. Результатом анализа будет та эталонная эмоция, индекс которой соответствует выделенной последовательности.

Результаты исследования

Результаты нашего исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты сравнений слов анализируемого фрагмента с эталонами эмоций.

1 Радость / 2 Грусть				1 Возбуждение / 2 Торможение			
Слово 1	Визуально	Серии	Побайт.	Слово 1	Визуально	Серии	Побайт.
WAV	2	2	1	WAV	2	2	1
Произв.	2	2	1	Произв.	1	2	1
Первооб.	2	2	1	Первооб.	1	2	2
Огибающ.	2	2	1	Огибающ.	2	2	1
Произв.О	2	2	1	Произв.О	2	2	1
Перв. О	1	2	2	Перв. О	2	2	1
Слово 2	Визуально	Серии	Побайт.	Слово 2	Визуально	Серии	Побайт.
WAV	2	2	2	WAV	2	2	1
Произв.	2	2	2	Произв.	1	2	1
Первооб.	2	2	2	Первооб.	1	2	2
Огибающ.	2	2	1	Огибающ.	2	2	1
Произв.О	2	2	1	Произв.О	2	2	2
Перв. О	1	2	2	Перв. О	2	2	1

В таблице 1 – радость и возбуждение, 2 – грусть и торможение. Явно видно, что во всей фразе и в каждом слове в частности, преобладают грусть и торможение. Этот результат подтверждает рабочую гипотезу, так как человек, который записывал эту фразу, находился в подавленном состоянии.Видно, что анализ производной и первообразной дают больше информации об эмоциях, чем просто функция, подтверждая нашу гипотезу.

Заключение

Результатом работы стал метод анализа фрагментов человеческой речи, позволяющий определять эмоциональность речи, представленной в данном фрагменте, то есть

проанализировать эмоциональность как фрагмента в целом, так и каждого слова в фрагменте.Данный метод исследования эмоциональности звука имеет большой потенциал.

Библиографический список

1. Физический энциклопедический словарь: http://www.all-fizika.com
2. *Суворова В.А., Шкарапута А.П.* Разработка и возможности применения алгоритма вычисления энтропии звуковой волны. ВестникПермскогоуниверситета. Математика. Механика. Информатика. Выпуск 1(32). 2016. с. 29 - 33

IDENTIFICATION OF SPEECH EMOTIONALITYON THE BASIS OF THE SOUNDWAVE DERIVATIVES AND PRIMITIVES

Bakhtin Vadim V.

Perm State University, st.Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990, bakhtin94@bk.ru

The article deals with the development and implementation of algorithms for the analysis of speech emotionality, which uses sound waves function, as well as functions based on the initial one.The developed algorithm allows the identification of speech emotionality in the basis consisting of four emotions: joy, sadness, excitement and inhibition of brain activity processes.These emotions form the basis, if they are combined in pairs of antonymous emotions.These emotions form the basis, if they are combined in pairs of antonymous emotions. For identification patterns of words with a predominance of a particular emotion are constructed. Every word in the passage is compared with all the patterns of words having the appropriate length, with the usage of visual and programmed analysis methods.Each word is mapped to a single emotion of each pair, and the resulting vector of this comparison gives an answer to the question: what kinds of emotions prevail in this speech fragment. This method can find practical application in the fields associated with the need to determine the person's mood quickly.

Key words: Speech analysis, soundwave derivative, soundwave primitive, speech emotionality

УДК 531/534:[57+61]

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ТРАБЕКУЛЯРНОЙ КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УСЛОВИЙ НАГРУЖЕНИЯ[1]

Киченко Александр Александрович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614990, Россия, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, kichenko.alex@inbox.ru

Постоянно изменяющиеся нагрузки различной природы оказывают влияние на развитие и функционирование трабекулярной костной ткани. Трабекулярная костная ткань является неоднородным пористым анизотропным материалом. Структурные особенности трабекулярной кости можно описать при помощи тензора структуры. Осуществлена постановка начально-краевой задачи о перестройке трабекулярной костной ткани. Разработан алгоритм её решения и на классическом примере осуществлена его верификация. На классическом примере растяжения ортотропного брусапоказано влияние различной ориентации структуры материала на его напряженно-деформированное состояние. Результаты показывают различный характер влияния изменения нагрузки на процесс формирования структуры и соответствуют закону Вольфа.

Ключевые слова: Трабекулярная (губчатая) костная ткань, закон Вольфа, тензор структуры, адаптация трабекулярной кости, начально-краевая задача о перестройке трабекулярной костной ткани.

На развитие и функционирование костной системы человека влияют постоянно изменяющиеся нагрузки, имеющие различную природу; подобные изменения имеют отдаленные во времени последствия и в первую очередь отражаются на организации структуры костной ткани. Трабекулярнаякостная ткань является неоднородным пористым анизотропным материалом, механические свойства которой во многом определяются её внутренней архитектурой.В настоящее время не существует методов, позволяющих определить изменения трабекулярной микроструктуры *in vivo* инструментально.

В работе предложена модель перестройки губчатой костной ткани с учётом взаимовлияния напряжённо-деформированного состояния и структурных изменений, позволяющая спрогнозировать долговременный отклик структуры на внешнее вмешательство методами математического моделирования.

Известно, что адаптационные процессы, протекающие в костной ткани, подчиняются закону Вольфа [1, 2]. Частный закон Вольфа для костной ткани [1, 3, 4] говорит о том, архитектура трабекулярной костной ткани в локальной области структурно адаптируется к местному напряженному состоянию, а трабекулы располагаются закономерно, в

[1] Публикация подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15–01–04884–а).
© Киченко А.А., 2016 г.

соответствии с тем, какие внешние нагрузки испытывает данная кость [1, 4]. Установлено [1], что ориентация трабекул в рассматриваемой области костной ткани совпадает с главными направлениями тензора напряжений в этой же области.Показано [1, 2, 3], что величиной, способной описать структурные особенности костной ткани, является тензор структуры. Данный тензор позволяет сформулировать соотношения, способные описывать упругие свойства материала с учётом его строения и адаптационные изменения костной микроструктуры[4, 5].Для исследования напряжённо-деформированного состояния трабекулярной костной ткани и протекающих в ней адаптационных процессов были использованыранее полученные определяющее и эволюционные соотношения[2, 5].Для данных соотношений общая постановка начально-краевой задачи оперестройке трабекулярной костной ткани могла быть записана в следующем виде:

$$\vec{\nabla}\cdot\tilde{\sigma}=0,\quad \vec{x}\in V,\quad t\geq 0, \tag{1}$$

$$\tilde{\sigma}=\tilde{\tilde{C}}(\tilde{K},e)\cdot\cdot\tilde{\varepsilon}\ ,\quad \vec{x}\in V\cup S,\quad t\geq 0, \tag{2}$$

$$\frac{d\tilde{K}}{dt}=\tilde{f}_1(\tilde{\varepsilon},\tilde{K},e),\quad \operatorname{tr}\tilde{K}=0,\quad \vec{x}\in V,\quad t\geq 0, \tag{3}$$

$$\frac{de}{dt}=f_2(\tilde{\varepsilon},\tilde{K},e),\quad \vec{x}\in V,\quad t\geq 0, \tag{4}$$

$$\tilde{\varepsilon}=\frac{1}{2}(\vec{\nabla}\vec{u}+\vec{u}\vec{\nabla}),\quad \vec{x}\in V\cup S,\quad t\geq 0, \tag{5}$$

$$\vec{n}\cdot\tilde{\sigma}=\vec{P}(t),\quad \vec{x}\in S_\sigma,\quad t\geq 0, \tag{6}$$

$$\vec{u}=\vec{U}(t),\quad \vec{x}\in S_u,\quad t\geq 0, \tag{7}$$

$$\tilde{K}=\tilde{K}^0,\quad e=e^0,\quad \vec{x}\in V,\quad t=0, \tag{8}$$

$$\vec{P}=\vec{P}^0,\quad \vec{x}\in S_\sigma,\quad \vec{U}=\vec{U}^0,\quad \vec{x}\in S_u,\quad t=0. \tag{9}$$

Здесь $\tilde{K}$ – девиатор тензора структуры($\operatorname{tr}\tilde{K}=0$), e – изменение доли твёрдого объёма кости относительно отсчётной величины, эволюционное уравнение (3) описывает изменение ориентации трабекул в рассматриваемой области, эволюционное уравнение (4) описывает изменение плотности губчатой костной ткани.

Для данной постановки разработан алгоритм решения[4] и на ряде примеров [4,5] показана эволюция трабекулярной костной ткани при изменении напряжённо-деформированного состояния.Для верификации разработанного алгоритма рассмотрена классическая задача [1], подробно разобранная в [4]. Получено, что время и характер сходимостирешения[4]совпадают с известными [1] результатами. На классическом примере растяжения ортотропного бруса[6] было показано влияние различной ориентации структуры

материала на его напряженно-деформированное состояние. В задаче брус растягивался осевой силой $\boldsymbol{P}$ (см. рис. 1),при этом в каждой точке бруса задавалась структура, соответствующая полученному в работе [3] значению тензора структуры для трехмерного образца трабекулярной костной ткани. В результате первоначально не соосные тензоры напряжений и структуры стали соосны, а новая костная микроструктура изменилась так, как показано на рис. 2 и 3.

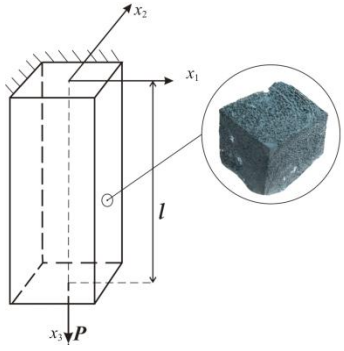


Рис. 1. Растяжения ортотропного бруса

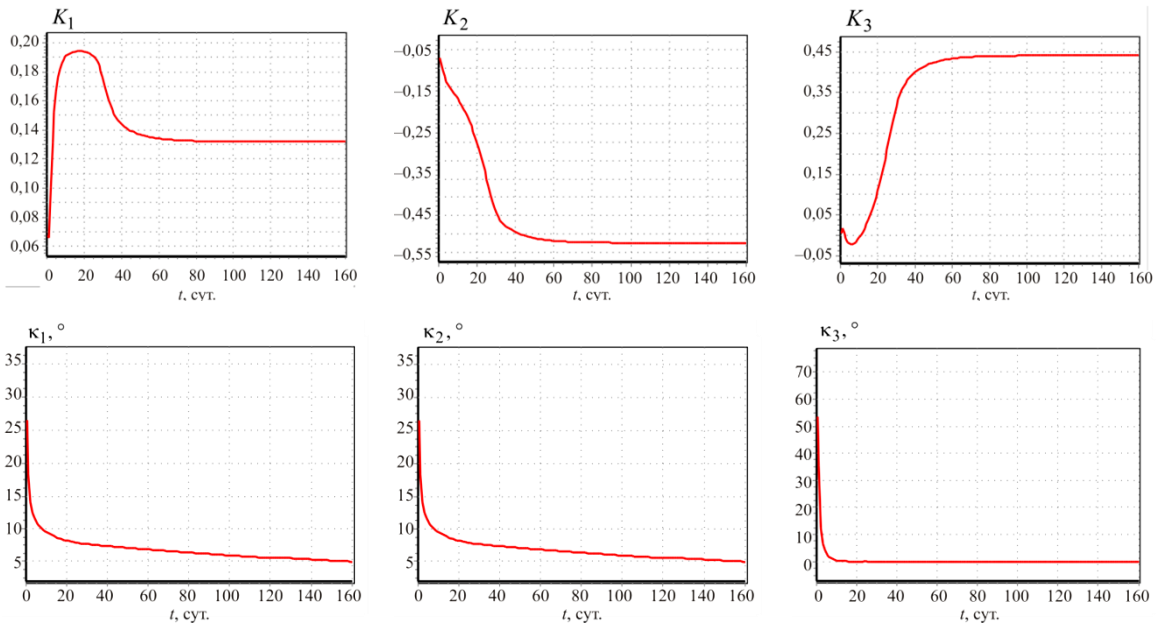


Рис. 2. Изменение структуры (главных значений тензора $\tilde{K}$ (K_i) и углов между главными направлениями тензора $\tilde{K}$ (κ_i) исоответствующимиосями x_i системы координат,показанной на Рис. 1)

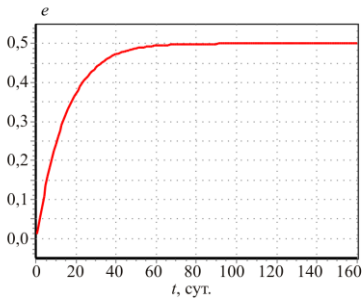


Рис. 3. Изменение плотности (доли твёрдого объёма кости) трабекулярной микроструктуры

Полученные результаты показывают различный характер влияния изменения нагрузки на процесс формирования структуры и соответствуют закону Вольфа.Серия примеров, рассмотренных авторами и не представленных в данной работе, показала хорошую работоспособность модели [4,5]. В настоящее время осуществляется моделирование напряженно-деформированного состояния в зубочелюстной системе человека с учетом структурных особенностей [3], имеющихся в нижней челюсти.

Библиографический список

1. *Cowin S.C.* Bone Mechanics Handbook // New York, CRC Press, 2001, 1136 p.
2. *Киченко А.А., Тверье В.М., Няшин Ю.И., Осипенко М.А., Лохов В.А.* Постановка начально-краевой задачи о перестройке трабекулярной костной ткани // Российский журнал биомеханики, 2012, Т. 16, № 4. С. 36–52.
3. *Tverier V., Kichenko A., Nyashin Y., Lokhov V.* Experimental construction of the fabric tensor for trabecular bone tissue // Series on Biomechanics, 2015, Vol. 29, No. 4, P. 33–38.
4. *Киченко А.А., Тверье В.М., Няшин Ю.И., Осипенко М.А., Лохов В.А.* О приложении теории перестройки трабекулярной костной ткани // Российский журнал биомеханики, 2012, Т. 16, № 4. С. 53–72.
5. *Tverier V., Kichenko A., Nyashin Y., Lokhov V.* Mathematical modelling of trabecular bone tissue remodelling under load // Series on Biomechanics, 2015, Vol. 29, No. 4, P. 39–44.
6. *Лехницкий С.Г.* Теория упругости анизотропного тела. М.: «Наука», 1977.

MATHEMATICAL MODELLING OF THE TRABECULAR BONE TISSUE BEHAVIOR UNDER CHANGING LOAD

Kichenko Alexander A.

StateNationalResearchPolitechnicalUniversity of Perm, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia, 614990, kichenko.alex@inbox.ru

Ever changing loadings of different nature have influence on development and functioning of the trabecular bone tissue. Trabecular bone tissue is a heterogeneous,porous, anisotropic material. Structural features of trabecular bone can be described by means of the fabric tensor.An initial boundary value problem on the trabecular bone tissue remodelling is stated.The solutionalgorithm is developed and its verification is made on the base of the classical example.On the base of the classical exampleof the orthotropic beam tension, it is demonstrated the influence of different material structure orientations on its stress-strain state.The results demonstrate different character of influence of changes of loading conditions on process of structure formation which follows from Wolff's law.

Key words: Trabecular (cancellous) bone tissue, Wolff's law, fabric tensor, trabecular bone adaptation, initial boundary value problem on the trabecular bone tissue remodelling.

УДК 531/534:[57+61]

УПРУГАЯ СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ПЕРИОДОНТА[1]

Мазалова Алина Олеговна, Дударь Олег Иосифович

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

При действии физиологической или патологической нагрузки периодонт распределяет нагрузку по стенке альвеолы, а также участвует в распределении нагрузки по зубному ряду. Важно выяснить, к каким отрицательным эффектам могут привести дефекты зубочелюстной системы (отсутствие зубов, нарушение прикуса и т.п.), отсутствие периодонтальной прокладки у имплантов. Также является важным вопрос о роли периодонта при ортодонтическом перемещении зубов. В данной работе было предположено, что нагружение происходит медленно, поэтому учитывались только упругие свойства периодонта. Было определено примерное количество волокон в периодонтальной ткани, была получена зависимость вертикальной силы, действующей на клык при центральной окклюзии, от перемещения корня зуба. При среднем значении жевательной нагрузки эта зависимость близка к линейной, хотя в целом она нелинейная. Сравнение с зависимостью силы от перемещения, полученной ранее в работе [1] на основе линейно упругой модели, использующей гипотезу Винклера, показало хорошее соответствие результатов.

Ключевые слова: периодонт, упругость, структурная модель, коллагеновые волокна, центральная окклюзия.

Введение. Периодонт - соединительная ткань, находящаяся между корнем зуба и альвеолярной пластинкой. Периодонт состоит, главным образом, из коллагеновых волокон, которые формируют упругий отклик на нагрузку. Периодонт также содержит кровеносные, лимфатические сосуды и межклеточное вещество, жидкость которых формирует вязкий отклик. Нас интересует связь между силой, действующей на зуб, и его перемещением при центральной окклюзии. Это позволяет прогнозировать отрицательные последствия дефектов зубочелюстной системы, а также вероятные результаты их лечения. Будем полагать, что зуб нагружается медленно, поэтому рассматриваем только упругие свойства периодонта.

Табл.1.Упругие свойства периодонта:

Модуль Юнга периодонта	Коэффициент Пуассона	Ссылка
0,07 МПа	0,49	[2]
0,5 МПа	0,45	[3]
6,8 МПа	0,45	[4]

Чаще всего применяется модель периодонта как изотропного линейно упругого тела [2-4]. Эта модель имеет следующие недостатки: данные по упругим свойствам существенно

[1] Публикация подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 02-01-00701 и 03-01-06350-МАС) и Американского Фонда Гражданских Исследований и Развития (грант РЕ-009-0).
© Мазалова А.О., Дударь О.И., 2016 г.

отличаются (табл.1);при центральной окклюзии изотропная линейно упругая модель предполагает сжатие, тогда как волокна в действительности растягиваются;для мягких тканей характерно нелинейно-упругое поведение.Поэтому в данной работе будем рассматривать структурную модель периодонта.

1. Структурная модель периодонта. Примем следующие допущения: рассматривается центральная окклюзия, поэтому нагрузка направленапо оси зуба; рассматриваем однокорневой зуб; полагаем, что корень имеет форму конуса, радиуса r и высоты h(рис.1); полагаем, что все волокна направлены под одним углом θ к вертикали (рис.1); полагаем, что размер периодонтальной щели δ везде одинаковый (рис.1).

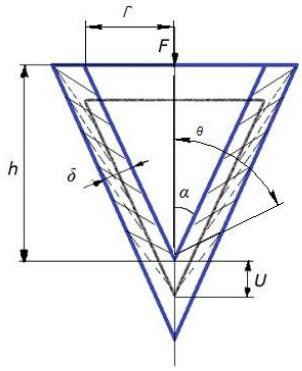


Рис. 1 Структурная модель периодонта:
U- перемещение, F- вертикальная сила,
r – радиус корня зуба, h – высота корня зуба, E – модуль Юнга волокна,
α – угол между высотой и образующей,
θ- угол между волокном и вертикалью.

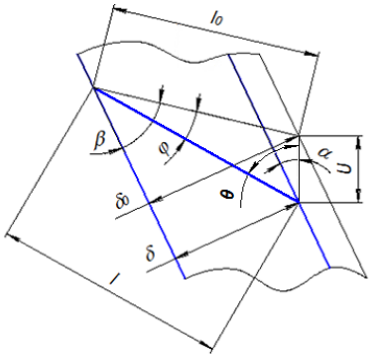


Рис. 2 Растяжение волокна периодонта при нагружении: β – угол между волокном и образующей, l_0, l – начальная и конечная длина волокна, δ_0, δ – начальная и конечная ширина периодонтальной щели, φ – угол наклона волокна относительно пержения.

Рассмотрим геометрию деформирования волокна. На рис.2 сторонытреугольника l, l_0, U соотносятся по теореме синусов:

$$\frac{U}{\sin(\varphi)} = \frac{l_0}{\sin(\gamma)} = \frac{l}{\sin(\psi)}, \qquad \frac{l}{l_0} = \frac{\sin(\psi)}{\sin(\gamma)} = \frac{\sin(\theta)}{\sin(\theta-\varphi)} \tag{1}$$

Тогда деформацию волокна в случае одноосного растяжения можно найти по формуле:

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} = \frac{\sin(\theta)-\sin(\theta-\varphi)}{\sin(\theta-\varphi)} \tag{2}$$

Напряжение в волокне можно найти по закону Гука$\sigma=E\cdot\varepsilon$.Общее суммарное по всем волокнам вертикальное усилие Fможно найти по формуле:

$$F = nES\left(\frac{\sin(\theta)}{\sin(\theta-\varphi)} - 1\right)\cos(\theta-\varphi) \tag{3}$$

Тем самым определена связь между усилием Fи углом наклона волокнаφ. Из (1) можно найтитакже связь между φ и U:

$$ctg(\varphi) = \frac{l_0}{U\cdot\sin(\theta)} + ctg(\theta) \tag{4}$$

2. Исходные данные для расчетов. Были приняты следующие значения исходных данных: Принимаемr = 3,0 мм, h= 15,0 мм [2], δ= 0,2 мм [5], θ = 35˚[6]. E = 1 МПа[7].Количество волокон nнайдем через отношение боковой площади поверхности корня зуба$S_к$ к площади поперечного сечения волокна$S_в$. Принимаем, что пучки на этой поверхности плотно прилегают друг к другу, в результате чего:

$$n = \frac{S_к}{S_в} = \frac{\pi r h}{\frac{1}{4}\pi d^2} \quad (5)$$

Принимая d = 8 мкм[8], получаем n=2,88·10^{12}.

3. Результаты расчетов.Изменяя параметр φ в (3) и (4) от 0˚ до 6˚, получаем зависимость силы Fот перемещения Uпри среднем значении жевательной нагрузки (рис.3).Сравнение с зависимостью, полученной ранее в работе [1] на основе линейно упругой изотропной модели с применением гипотезы Винклера, показало хорошее соответствие результатов (рис.3). Видно также, что для рассмотренного уровня жевательной нагрузки (F_{max}=15Н),зависимость близка клинейной, хотя в целом онанелинейная(рис.3).

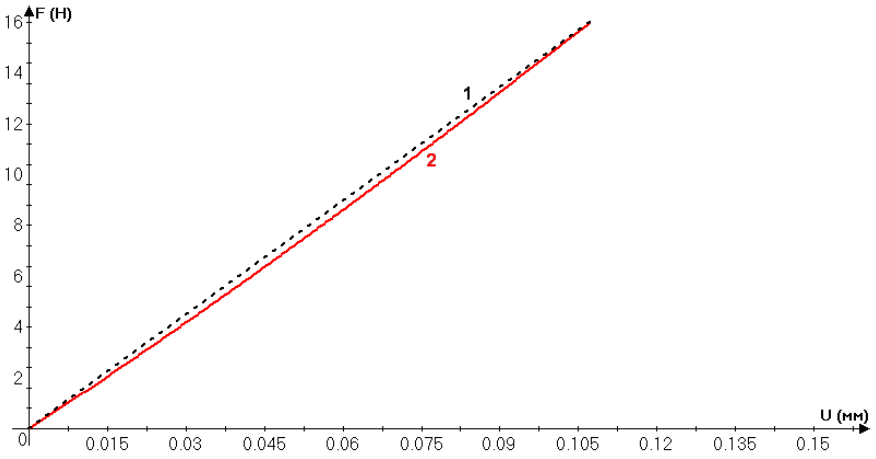


Рис. 3 Зависимость силы F, действующей на зуб от его перемещения U: 1 – расчет по формуле, использующей гипотезу Винклера [2]; 2 – расчет по формулам (3), (4).

Библиографический список

1. *О.И. Дударь, И.П. Костерина, Л.В. Майорова, Н.А. Фатеева*«Распределение жевательной нагрузки по зубному ряду при центральной окклюзии»**,** Российский журнал биомеханики, том 7, № 3: 29-34, 2009
2. *Andersen K.L., Pedersen E.H., Melsen B.* Material parameters and stress profiles within the periodontal ligament. American Journal of Orthodontic and Dentofacial Orthopaedics, 99: 427-440, 1991.
3. *Kaewsuriyathumrong C., Soma K.* Stress of tooth and PDL structure created by bite force. Bulletin of Tokyo Medical and Dental University, 40: 217-232, 1993.

4. *Katona T.R., Paydar N.H., Akay H.U., Roberts W.E.* Stress analysis of bone modelling response to rat molar orthodontics. Journal of Biomechanics, 28(1): 27-38, 1995.
5. *Астахов Н.А., Гофунг Е.М., Катц А.Я.* Ортопедическая стоматология. М.-Л.: Медгиз, 1940. 378 с. 34.
6. Анатомо-физиологические особенности периодонта [Электронный ресурс]URL: http://stomatologist.org/dentistry-specialist/dentistry/293-anatomo-fiziologicheskie-osobennosti-periodonta.html (Дата обращения 10.10.2015)
7. *KoichiroKomatsu* Mechanical Strengthand Viscoelastic Response of the Periodontal Ligamentin Relationto Structure, Journal of Dental Biomechanics, 2010.
8. *Caputo A.A., Standlee J.P.* Biomechanics in clinical dentistry. Chapter 3. The periodontium. Quintessence Publushing Co., 1987.

ELASTIC STRUCTURAL MODEL OF THE PERIODONTIUM

Mazalova Alina O,Dudar Oleg I

State National Research Politechnical University of Perm, Komsomolsky Av. 29, Perm,Russia, 614990, olegdudar@ya.ru

The periodontium distributes load on an alveolus wall and also participates in a load distribution on a dentition at action of physiological or pathological load. It is important to find out to what negative effects can lead defects of dentoalveolar system (absence of teeth, violation of a bite, etc.), absence of periodontal laying at implants. Also the question of a periodontium role at orthodontic movement of teeth is important. In this work it was assumed that the loading occurs sluggishly therefore only elastic properties of a periodontium were considered. The approximate amount of fibers in periodontal tissue was defined, dependence of the vertical force operating on a canine at the central occlusion from movement of a fang was received. With an average a masticatory load this dependence is close to the linear though in general it is non-linear. Comparison with dependence of force on movement received earlier in work [1] on the basis of linearly elastic model using Vinkler's hypothesis showed good compliance of results.

Key words: periodontium, elasticity, structural model, collagenic fibers, central occlusion.

УДК 004.942

СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СВЕТОФОРА НА ПЕРЕКРЕСТКЕ

Морозова Светлана Сергеевна

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
614070, Россия, г. Пермь, ул. Студенческая, 38, svetl_morozova@mail.ru

Статья посвящена вопросу автоматизации проектирования режимов работы светофоров на перекрестке. В работе описан алгоритм построения математической модели в виде графа на основе описания заданного перекрестка. Также представлено решение для проектирования режимов работы светофора с помощью определения сигнальных групп. Данные группы представляют совместимые повороты на перекрестке, т.е. повороты, которые могут быть выполнены одновременно. В качестве входных данных программа получает схему конкретного перекрестка. В качестве выходного параметра программа выдает описание полного цикла работы светофоров в соответствии с правилами дорожного движения. Разработанный программный продукт можно будет использовать для проектирования оптимальной схемы движения на новых перекрестках, а также для проверки того, насколько рационально функционируют светофоры на уже существующих перекрестках.

Ключевые слова:математическая модель, теория графов, оптимизация схемы движения.

Введение

Одной из характерных особенностей многих современных городов является постепенное увеличение количества транспорта на дорогах. Проблема затрудненного движения стала одним из главных препятствий для развития инфраструктуры крупных населенных пунктов. Для ее решения вариант реконструкции или создания новых дорог не всегда является оптимальным, ввиду высокой стоимости строительных работ и особенностей функционально-планировочной структуры города. Согласно проекту бюджета города Перми на 2016 год и на плановый период 2017 и 2018 годов [1], в статьи расходов включена реализация мероприятий по транспортной безопасности и моделированию потоков.

В рамках данных мероприятий можно выделить задачу проведения оптимизации дорожного движения при помощи регулирования режимов работы светофорных объектов. Следовательно, при правильном проектировании цикла работы светофоров можно получить наиболее оптимальный вариант схемы движения на перекрестках. Таким образом, актуальность рассматриваемой темы обусловлена необходимостью разработки инструмента для оптимизации схемы движения на перекрестке, с помощью которого вопрос об установке и настройке режимовработы светофоров будет решаться с использованием математического

© Морозова С.С., 2016 г.

аппарата.

Анализ решений для проектирования режимов работы светофора

Оптимизация светофорного регулированияданным способом представлена рядом программных продуктов, одним из которых являетсяPTVVissim. Построение режимов работы светофора осуществляется путем имитационного моделирования транспортных потоков [2]. Стоимость данного решения варьируется от 400 000 до 3 000 0000 рублей. Стоит также отметить, что при таком моделировании требуется большой набор статистических данных по организации движения на различных типах перекрестков за некоторый период времени.Еще одним программным комплексом со схожим функционалом является MITSIMLab [3], который может быть запущен только в среде Linux. Одной из систем для оптимизации светофорного регулирования в России является разработка транспортной лаборатории ИрГТУ «Светофор»,которая, тем не менее, не получила широкого распространения среди потенциальных пользователей – департаментов дорог и транспорта российских городов.

Описание алгоритма построения модели перекрестка

Основой разработанной системы является математическая модель [4]. Данная модель представлена в виде неориентированного графа, построение которого основано на алгоритме, определяющем правила пересечения перекрестка между различными направлениями. При построении модели важную учитываются следующие характеристики: количество дорог на перекрестке, тип движения по дороге, направление движения по дороге

Проектирование режимов работы светофоров осуществляется путем «жадной» раскраски графа. В данном случае светофорным режимам соответствуют сигнальные группы, для каждой из которых определены повороты, для которых в рамках светофорного цикла сигнал светофора одинаковый. Пример построенного графа для модельного перекрестка представлен на рис 1.

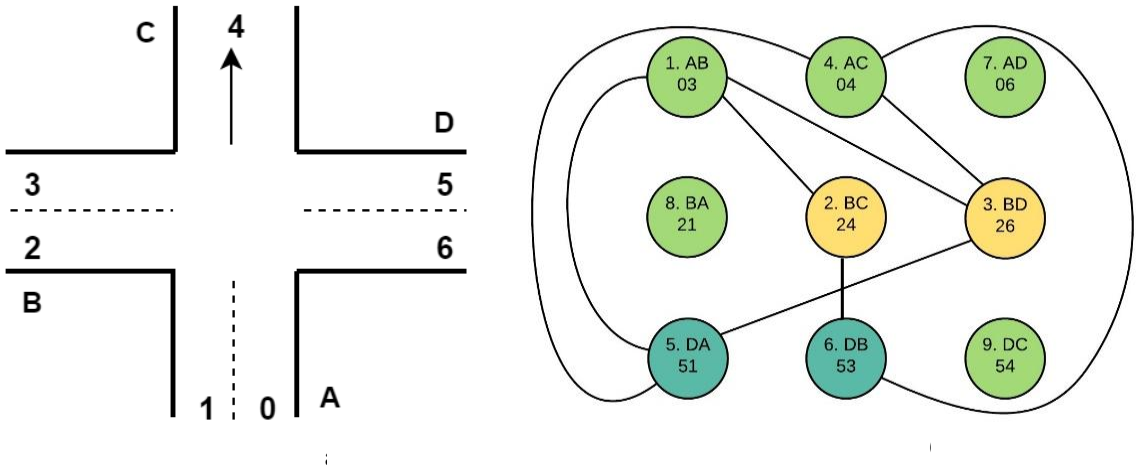


Рис. 1. а) модельный перекресток; б) построенная модель перекрестка

Так как «жадный» алгоритм является эвристическим, применяется усовершенствование алгоритма раскраски [5] для получения минимального числа сигнальных групп. Для этого алгоритм раскраски запускается несколько раз на всех возможных нумерациях вершин.

Описание системы проектирования режимов работы светофора

Программный продукт разработан в среде программирования Microsoft Visual Studio .NET 2012и представляет собой приложение на базе Windows Forms. Для построения графа был описан пользовательский класс«Graph», содержащий в себе свойства и методы для построения и работы над моделью. Также было реализовано преобразование структуры графа в формат XML, что позволило сохранять проекты для дальнейшей работы с ними. Структура программного решения представлена на рис. 2.

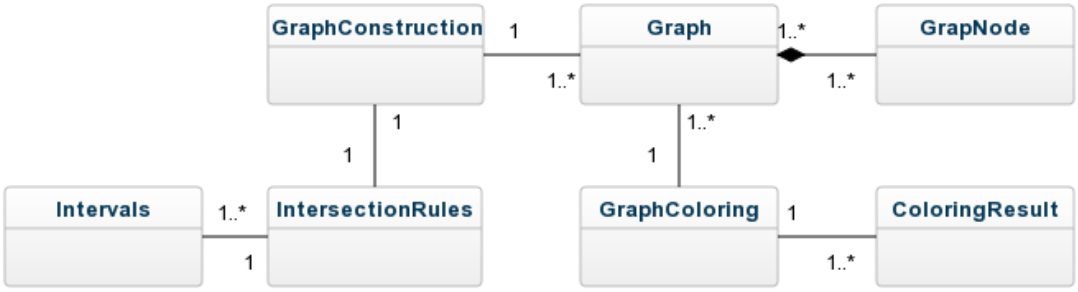


Рис. 2. Схема классов программного решения

Входные данные для программы (количество дорог и направление по каждой из них) вводит пользователь, выходной результат программы – таблица с перечислением поворотов для каждой сигнальной группы (см. рис. 3).

РЕЖИМ	ПОВОРОТЫ
1	AB, AC
2	BD, BC
3	DA, DB
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПОВОРОТЫ	AD, BA, DC

Рис. 3. Результат работы программы для модельного перекрестка

Таким образом, программа определяет список сигнальных групп, на основе которых можно построить режимы работы светофора.

Заключение

В работе описан универсальный алгоритм построения математической модели в рамках теории графов. Реализуемый алгоритм не зависит от конкретных характеристик конфигурации перекрестка. Такое решение автоматизирует процесс разработки схемы движения и не требует участия человека.

В рамках исследования конечным продуктом является компьютерная программа,

которая в качестве входных данных получает схему конкретного перекрестка, а в качестве результата выдает описание полного цикла работы светофоров с минимальным числом режимов в соответствии с правилами дорожного движения. Данный продукт может использоваться департаментом дорог и транспорта г.Перми и ГИБДД при оценке существующих и планировании новых схем движения на сложных регулируемых перекрестках.

Библиографический список

1. Администрация города Перми. Решение Пермской городской Думы от 22.12.2015 № 275 «О бюджете города Перми на 2016 год и на плановый период 2017 и 2018 годов». [Электронный ресурс] URL: http://www.gorodperm.ru/economic/financ/budget/god2016/ (дата обращения: 05.04.2016).
2. PTV Patrner Продукты. Vissim. [Электронный ресурс] URL: http://ptv-vision.ru/produkty/vissim (дата обращения: 05.04.2016).
3. Massachusetts Institute of Technology. Software. [Электронный ресурс] URL: https://its.mit.edu/software/mitsimlab (дата обращения: 06.04.2016).
4. *Aho A., Hopcroft J., Ullman J.* Data structures and algorithms. Mass.: Addison-Wesley, 1983.
5. *Li Y., Lucet C., Moukrim A.* Greedy Algorithms for the Minimum Sum Coloring Problem // Logistique et transports, 2009. pp. LT-027.

TRAFFIC LIGHTS PHASES PLANNING SYSTEM

Morozova Svetlana S.

National Research University Higher School of Economics,
st. Studencheskaya, 38, Perm, Russia, 614070, svetl_morozova@mail.ru

The article is dedicatedtothe question of traffic lights cycle projecting automation. The paper presents the algorithm of mathematical model construction. The model is based on intersection description and is built in the graph form. The solution of traffic lights projection with the use of signal cycle groups is given. These groups define compatible traffic lanes. . The number of roads and directions of its lanes is entered as system inputs and the signal cycle description is displayed as the output result of the program execution. This program will be capable of accurate and optimal traffic signal phases design and can be used in the departments of roads and transport and road construction companies for planning new intersection and evaluating the real ones.

Keywords: mathematical model, graph theory, traffic management optimization.

УДК 519.711.2

ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Попов Никита Владимирович, Суворова Валерия Александровна

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, npv1310@gmail.com,valery.suvorova@yandex.ru

Предметом данной статьи является математическая модель эмоционального воспитания робота. В статье исследуется частный случай основной модели, когда элементарные воздействия зависят от общего состояния робота. Трудность здесь заключается в том, что нельзя описать новый объект при помощи общего критерия сходимости, установленного в статье «Исследование математической модели эмоционального воспитания робота», ввиду двунаправленной зависимости основных величин – суммарного и элементарного воспитаний. Для решения данной проблемы была применена теория динамических систем, которые описываются при помощи итерации некоторой функции. В результате были выявлены условия того или иного вида сходимости – локального или глобального – суммарного воспитания, полученного роботом. В заключении даны идеи о том, как можно применить получившуюся математическую модель в рамках общей теории.

Ключевые слова: робот, эмоция, эмоциональное воспитание, обратная связь, математическое моделирование, динамическая система.

Введение

В данной статье развиваются изложенные в монографии [1] идеи о воспитательном процессе робота.

Рассмотрим психический процесс $П$ и связанное с данным процессом психическое состояние S некоторого робота σ. Процесс $П$ характеризуется тем, что, в отсутствие каких-либо воздействий на робота σ, связанное с данным процессом состояние S стремится к нейтральному состоянию S_0. Пусть R_i – числовая интегральная характеристика состояния S робота после iвременных тактов. Запишем связь R_{i+1} с R_i – переход от состояния Sв i-ый момент времени к состоянию S'в $i + 1$ – в виде

$$R_i = r_i + \theta_i \cdot R_{i-1}, \quad (1)$$

с некоторым начальным состоянием, характеристика которого $R_0 = q$. В согласии с [1-3], величины θ_i назовём *коэффициентами памяти* и подчиним следующему требованию: $0 < \theta_i < 1$. Разность между R_i и $\theta_i \cdot R_{i-1}$, обозначенную как r_i и, по сути, характеризующую элементарное воздействие на робота σ, назовём *элементарным воспитанием*. Сама интегральная характеристика R_i, таким образом, является *суммарным воспитанием* робота после iтактов.

© Попов Н.В., Суворова В.А, 2016 г.

Подобным образом можно моделировать такие понятия, как воспитание, дружба, симпатия, зависимость (проявляющаяся в результате чрезмерного использования/употребления некоторого объекта; например, алкогольная зависимость), интерес/вовлеченность, учёба.Все они характеризуются тем, что, в отсутствие действия стимулов ($r_i = 0$), связанные с данными понятиями состояния стремятся к равновесному положению ($R = 0$) при $i \to \infty$. Стимулы r_i, по отношению к роботу σ, могут быть как внешними, так и внутренними. Следует отметить, что уравнение (1) данным требованиям удовлетворяет.

Далее рассматривается случай *равномерно забывчивого робота*[1-3], у которого $\theta_i = \theta = \text{const}$. Предположим, что R_i характеризует эффект, оказанный на робота σ в результате воспитания. Воспитатель *T*выстраивает свою стратегию r_i, основываясь на текущем состоянии робота R_{i-1}. Иными словами, не только R_i является функцией текущего элементарного воздействия r_i и предыдущего состояния R_{i-1}, но и элементарное воздействие r_i зависит от суммарного эффекта на данный момент R_{i-1}.

Математически данный процесс будет описан следующей системой уравнений:

$$R_i = r_i + \theta \cdot R_{i-1},$$
$$r_i = f(R_{i-1}).$$

Или, после подстановки

$$R_i = f(R_{i-1}) + \theta \cdot R_{i-1} = g(R_{i-1}). \quad (2)$$

Получившееся уравнение, таким образом, описывает *воспитательный процесс с обратной связью*.Ясно, что, в данном случае, суммарное воспитание на текущем шаге зависит только от предыдущего суммарного воспитания.

Целью настоящей статьи является установление условий, при которых последовательность $\{R_i\}$ сходится.

Постановка задачи

Пусть задана рекуррентная последовательность (2), с начальным значением $R_0 = q$. Для упрощения задачи функцию $f(x)$ предположим определённой и непрерывной при любом вещественном x, так что последовательные итерации fне приведут к значениям аргумента, при которых функция не определена. Ясно, что связанная с fфункция $g(x) = f(x) + \theta \cdot x$также будет всюду определена и непрерывна.

При сделанных допущениях попытаемся дать ответы на следующие вопросы:

1. При каких условиях последовательность $\{R_i\}$ сходится при заданном значении q? (*локальная сходимость*)

2. При каких условиях последовательность $\{R_i\}$ сходится при любых действительных значениях q? (*глобальная сходимость*)
3. При каких условиях последовательность $\{R_i\}$ расходится при всех значениях q?

В дальнейшем значения q, при которых последовательность $\{R_i\}$ сходится, будем называть *точками сходимости* функции g.

Необходимое условие существования точек сходимости

Теорема 1

Если у непрерывной и определённой всюду функции f(x) существует точка сходимости, то существует решение уравнения $x = f(x) + \theta \cdot x$.

Данная теорема является частным случаем общего свойства динамических систем, согласно которому итерация функции $x_i = g(x_{i-1})$ может сходиться только к неподвижной точке функции g, то есть точке x_0, для которойсправедливо $x_0 = g(x_0)$[4].

Существование точек сходимости вблизи неподвижных точек функции g

Очевидно, что если q – неподвижная точка $g(x) = f(x) + \theta \cdot x$, то соответствующая последовательность $\{R_i\}$ является тождественно постоянной: $R_i = q$при любом i, а значит, сходящейся. Этот тривиальный случай не представляет особого интереса.

В некоторых случаях точки, расположенные вблизи неподвижных точек функции g, тоже являются точками сходимости. Следующая теорема устанавливает достаточное для этого условие.

Теорема 2

Пусть $g(x)$ – непрерывная и определенная всюду функция, q – неподвижная точка g: то есть, $q = g(q)$. Если в точке q существует $g'(x)$, причем $|g'(q)| < 1$, то существует такая окрестность $(q - \delta; q + \delta)$, любая точка которой является точкой сходимости последовательности $\{R_i\}$.

Пример: $g(x) = x^2$. Неподвижные точки здесь $x_1 = 0$, $x_2 = 1$. $g'(x_1) = 0$, $g'(x_2) = 2$. Пусть q – произвольная точка. Для функции$g$$i$-я итерация будет иметь вид $R_i = q^{2^i}$. Если $|q| < 1$, то $R_i \to 0$. Таким образом, здесь $\delta = 1$.

Условие глобальной сходимости

В этом разделе будет рассмотрен класс так называемых сжимающих отображений, то есть отображений, удовлетворяющих условию Липшица $|g(x) - g(y)| \le c \cdot |x - y|$ со значением константы $0 < c < 1$. Как показано в работе [4], любая функция g, определенная и непрерывная всюду, а также удовлетворяющая условию сжимающего отображения при любых

действительных x, y, обладает тем свойством, что последовательные итерации функции g, начатые в произвольной точке, сходятся к одной из её неподвижных точек. Класс таких функций обладает свойством глобальной сходимости.

По-видимому, условие сжимающего отображения не является необходимым для глобальной сходимости, как показывает следующий простой пример: $g(x) = \sqrt[3]{x}$. Данная функция является определенной и непрерывной всюду. Её последовательные итерации в произвольной точке $x = q$имеют вид $R_i = q^{\frac{1}{3^i}}$и сходятся к –1, 0, 1 в зависимости от того, является ли q< 0,q= 0или же q> 0. То есть функция обладает свойством глобальной сходимости. Если бы существовала такая константаc, что 0 <c< 1, то всюду выполнялось бы соотношение $\left|\sqrt[3]{x} - \sqrt[3]{y}\right| \leq c \cdot |x - y|$ или, после несложных преобразований, $1 \leq c \cdot \left|\sqrt[3]{x^2} + \sqrt[3]{x} \cdot \sqrt[3]{y} + \sqrt[3]{y^2}\right|$, при $x \neq y$. Ввиду того что 0 <c< 1, необходимо, чтобы $1 \leq \left|\sqrt[3]{x^2} + \sqrt[3]{x} \cdot \sqrt[3]{y} + \sqrt[3]{y^2}\right|$. Последнее неравенство не выполняется, если взять $x = \frac{1}{8}, y = \frac{1}{27}$.

Заключение

В данной статье, в рамках теории эмоциональных роботов, рассмотрена производная модель воспитательного процесса с обратной связью. Изучена её взаимосвязь с общей теорией динамических систем, определяемых итеративными соотношениями [4]. Получены условия, при которых суммарное воспитание сходится.

Воспитательный процесс с обратной связью можно использовать при моделировании самовоспитания робота, когда на робота воздействуют только его прошлые воспитания, и он не получает никаких внешних стимулов, т.е. робот воспитывается благодаря его собственным воспоминаниям.

Библиографический список

1. *Пенский О.Г., Черников К.В.* Основы математической теории эмоциональных роботов: монография / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2010. – 256 с.
2. *Черников К.В.* Математические модели роботов с неабсолютной памятью: дис. канд. физ.-мат. наук. – Пермь, 2013.
3. *Попов Н.В.* Исследование математической модели эмоционального воспитания робота // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 12-3. – С. 439-443;
4. *Кроновер Р.* Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории: учеб. пособие: Пер. с англ. / Под ред. Т. Э. Кренкеля. – М.: ПОСТМАРКЕТ, 2000. – 352с.

EDUCATIONAL PROCESS WITH A FEEDBACK

Popov Nikita V., Suvorova Valeria A.

Perm State University, st. Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990, npv1310@gmail.com, valery.suvorova@yandex.ru

The subject of this article is a mathematical model of the robot's emotional education. In the article the special case of the basic model, when the elementary effects depend on the general state of the robot. The difficulty here lies in the fact that it is impossible to describe a new object using a common convergence criteria set out in the article «Research of the mathematical model of robot's emotional education», in view of the bidirectional dependence of basic quantities – summary and elementary education. To solve this problem, the theory of dynamical systems has been applied, dynamical systems are described by means of iteration of a function. As a result, the conditions of local or global convergence have been identified - the resultant robot education. In conclusion, some ideas of applying the mathematical model in the framework of the general theory are given.

Key words: robot, emotion, emotional education, feedback, mathematical modeling, dynamic system

УДК 531/534:[57+61]

ПОСТРОЕНИЕ ПОРОУПРУГОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ МЕЖПОЗВОНОЧНОГО ДИСКА В ПОЯСНИЧНОМ ОТДЕЛЕ

Хорошев Денис Владимирович, Ильялов Олег Рустамович

Пермский Национальный Исследовательский Политехнический Университет, 614990, Россия,г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, horosh-den@mail.ru

Приведены исследования свойств, состава и питания межпозвоночного диска на основе анализа литературных источников. Построена конечно-элементная модель межпозвоночного дискаL4-L5 в поясничном отделев сагиттальной плоскости. Моделирование отростков позвонков не производилось, так как интерес представляет именно межпозвоночный диск. Позвонок L5 зафиксирован и его перемещения равны нулю.Действия сил со стороны связок и мышц учитываются при помощи внутридискового давления. Последнее представлено распределенной нагрузкой, которая составляет P1=16 кН/м и действует на границе пульпозного ядра.На верхнюю часть позвонка L4 действует распределенная нагрузка P2=166,5 кН/м, что соответствует нагрузке в 500 кг.Приведена постановка задачи на основе пороупругой модели теории Био. Представлен анализ результатов расчета напряженно-деформированного состояния с использованием программного пакета Ansys. Целью данной работы являлось построениемаксимально приближенной к реальной модели межпозвоночного диска.

Ключевые слова: межпозвоночный диск, пороупругая модель, поясничный отдел.

Как показывает врачебная практика, более половины населения периодически испытывают боли в спине и около 80% из них приходятся на поясничный отдел. Эта боль может возникать независимо от возраста человека. Почти в половине случаев боль в поясничном отделе связана с грыжей межпозвоночного диска L4-L5.

В работе рассматривается построение пороупругой конечно-элементной модели межпозвоночного диска в поясничном отделе в сагиттальной плоскости. Материал считается изотропным. Задача решается как пороупругая задача[1] теории упругости.Физические характеристики модели взяты излитературного источника [2, с. 1983].

Рассматривается напряженно деформированное состояние межпозвоночного диска L4-L5. Предполагается, что верхняя поверхность замыкательной пластинки на позвонке L5 лежит горизонтально. Угол наклона всего сегмента относительно горизонтали не учитывается. Влияние связок на межпозвоночный диск учитывается с помощью внутридискового давления. Оно представлено распределенной нагрузкой, которая составляет P1=16 кН/м [3, с. 33] и действует на границе пульпозного ядра.Позвонок L5 зафиксирован и

© Хорошев Д.В, Ильялов О.Р., 2016 г.

его перемещения равны нулю. На верхнюю часть позвонка L4 действует распределенная нагрузка P2=166,5 кН/м, что соответствует нагрузке в 500 кг.

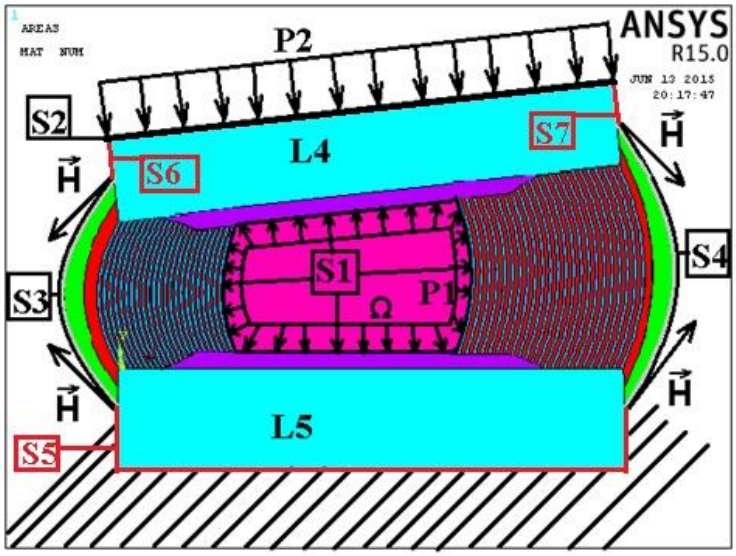


Рис. 1. Расчетная схема

Приведено решение поставленной задачи с использованием программного пакета Ansys. Получены распределения перемещений, напряжений и деформаций. Представлено сравнениеполученных перемещений с известными фактическими данными [4].

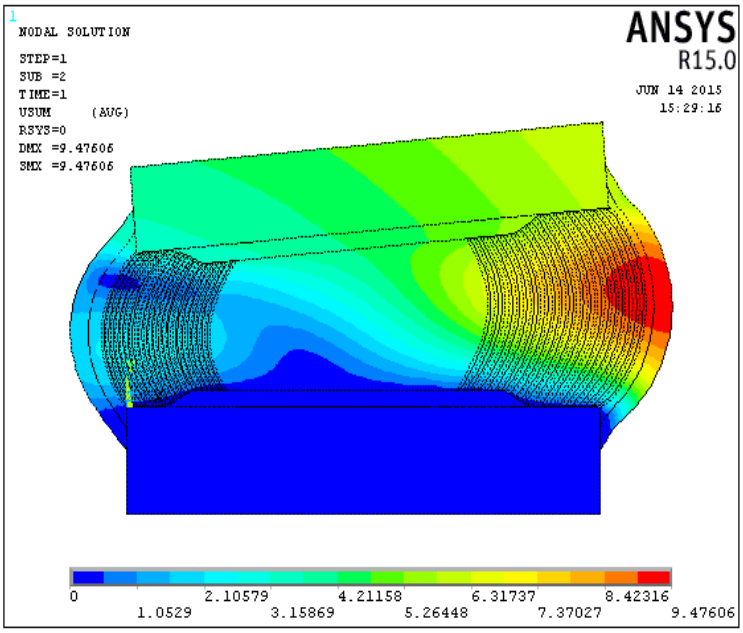


Рис. 2. Перемещения в мм

Результаты достаточно хорошо согласуются с результатами моделирования, полученными авторами [4] на основе применения нелинейной теории упругости. Перемещения на рис. 2 показывают, что при осевой нагрузке наиболее подвижной является передняя часть фиброзного кольца, а наименее подвижной задняя. Осевое перемещениеверхней средней точки позвонка L4 при осевой нагрузке в 5000 Н составляет

4.7 мм, что хорошо вписывается в диапазон 3-5 мм данных [4]. Однако, сравнение с известными экспериментальными данными [4] показывает существенное расхождение. Данный факт можно объяснить серьёзным упрощением реальной модели межпозвоночного диска.

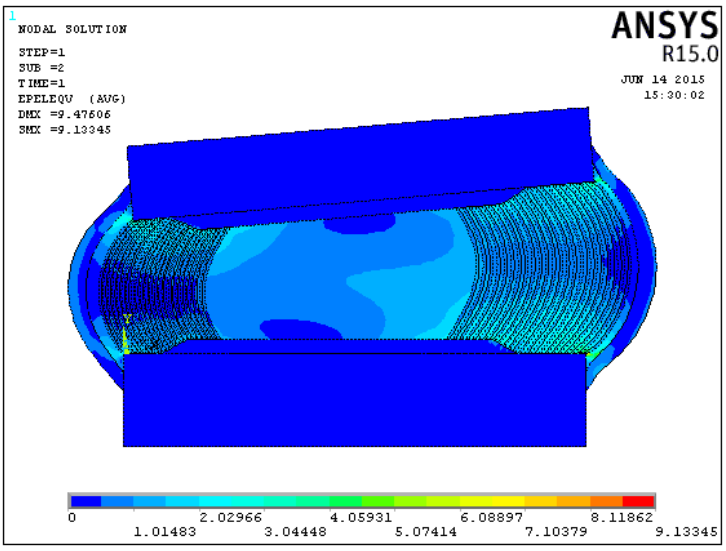


Рис. 3. Упругие деформации по Мизесу

Из анализа данных на рис. 3 следует, что наиболее деформируемые участки фиброзного кольца находятся в местах его прикрепления.

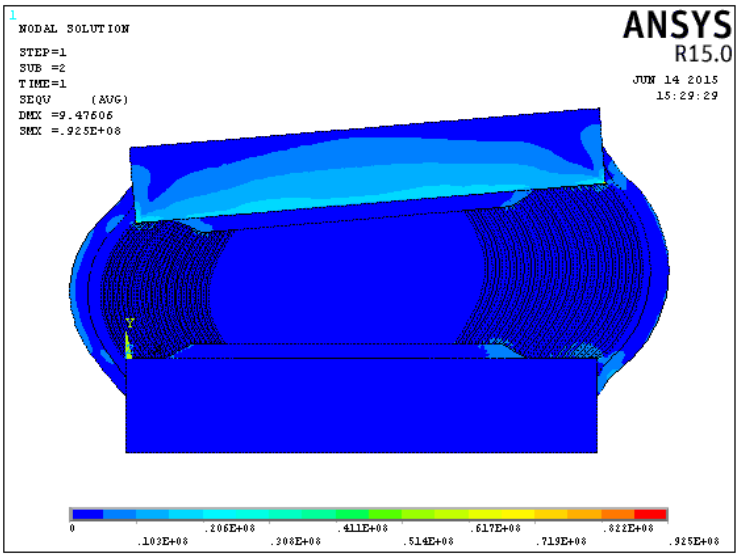


Рис. 4. Напряжения по Мизесу в Па

Результаты, представленные на рис. 4, показывают, что наибольшим напряжениям подвергается позвонок L4. Причём на краях позвонка они больше, чем в центре. Так же можно заметить, что в месте соединения позвонка L5 и передней продольной связки наблюдаются напряжения. Это, возможно, связано с углом наклона одного позвонка относительно другого.

В целом, необходимо отметить, что требуется серьезное дальнейшее исследование в направлении приближения предлагаемой модели к реальному межпозвонковому диску.

Библиографический список

1. *Тверье В.М., Миленин А.С.* Биомеханика моделирования диска височно-нижнечелюстного сустава как пороупругого тела//Российский журнал биомеханики. 2014. Т. 18. С. 294-310.
2. *Jamie R. W., Raghu N. N., Gunnar B. J.* Inclusion of regional poroelastic material properties better predicts biomechanical behavior of lumbar discs subjected to dynamic loading// Journal of Biomechanics. 2007. Vol. 40. P. 1981–1987.
3. *Жарнов А.М., Жарнова О.А.* Биомеханические процессы в межпозвонковом диске шейного отдела позвоночника при его движении//Российский журнал биомеханики. 2013. Т. 17. С. 32-40.
4. *YL Zhou, QH Zhang and EC Teo.*Effect of disc height and wedge angle on lumbar spine under axial compressive force//WACBE 2007 World Congress on Bioengineering, Bangkok, Thailand, 9-11 July 2007.

BUILDING THE POROELASTIC FINITE ELEMENT MODEL OF INTERVERTEBRAL DISC IN LUMBUR SPINE

Khoroshev Denis V., Ilyalov Oleg R.

Perm National Research Polytechnic University, Komsomolsky Av. 29, Perm,Russia, 614990, horosh-den@mail.ru

Abstract. The article studies properties, composition and nutrition of the intervertebral disc based on the analysis of literary sources. The finite element model of the intervertebral disc L4-L5 in the lumbar spine in the sagittal plane is built. The vertebral processes not modeled due to interest of the intervertebral disc. Vertebra L5 is fixed and its displacement is zero. The action of forces from the ligaments and muscles is taken into account with the help of intradiscal pressure. It is presented as distributed load, which is P1=16 kN/m and acts on the border of nucleus pulposus. Distributed load P2=166,5 kN/m actson the upper part of vertebra L4. The aboveproblem formulation is based on the poroelasticBio theory. The stress-strain statecalculationanalysis is carried out using Ansys. The aim of this work is construction the most adequate model of the intervertebral disc.

Key words: intervertebral disc, poroelastic model, lumbar spine.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ

УДК 519.86+338(075.08)

ТЕОРЕТИКО-ИГРОВАЯ МОДЕЛЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОНТРАКТОВ[1]

Бушмелева Ирина Владимировна, Горбушин Арсений Анатольевич, Шатров Анатолий Викторович

Вятский государственный университет, 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36, shatrov@vyatsu.ru

В данной работе описываются применения теоретико-игровых методов в задачах принятия решений.В компаниях реального сектора управленцы не всегда способны адекватно оценить профессиональные возможности исполнителей, особенно при найме работников.В этих условиях профессионально наиболее квалифицированные специалисты из числа работающих лучше понимают специфику своей работы и могут адекватно оценить профессионализм кандидата извне. По этой причине управленец (менеджер, владелец) может использовать знания сотрудника для того, чтобы нанять наиболее квалифицированного (талантливого) работника. Однако сотрудники осознают, что в компании ограниченное количество рабочих мест.Таким образом, у сотрудника появляется стимул предотвратить попадание более талантливого сотрудника в компанию, так как в будущем он может занять место менее способных работников.

Ключевые слова:математическая модель, теория игр, профессиональный контракт

1.Методическое обоснование

В задачах принятия решений о найме работников, к классу которых принадлежит рассматриваемая работа, существует достаточно много подходов и моделей [1,2]. В частности, принятие решений на основе методов линейного программирования: задачи о назначениях, задачи выбора, которые решаются в терминах целочисленного программирования [3]. Однако все эти постановки требуют знания реальных данных по профессиональным качествам и навыкам (экономической эффективности) претендентов на рабочие места. В представленной работе рассматривается постановка и реализация задачи в терминах теории игр. Существуют и рассмотрены подобные постановки задач. Во-первых, ониотносятся к литературе по моральному риску, которая началась со статьи [4]. Также как и у [5], в нашей работе владелец не может различать разные типы агентов - кандидатов на работу. В то же время сотрудники, которые уже работают в компании, могут различать типы кандидатов. В классической литературе отрицательный отбор (отказ) уменьшался с помощью сигналов работников или с помощью скрининга владельцем [6]. В нашей работе владелец будет пользоваться делегированием своих полномочий, для того чтобы преодолеть отрицательный отбор [7,8].

[1] Публикация подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки (базовая часть государственного задания по научным исследованиям высших учебных заведений № 2014/66, код проекта 1281, рег. № 114123040133).
© Бушмелева И.В., Горбушин А.А., Шатров А.В., 2016 г.

1. Постановка задачи.

Пусть фирма состоит из двух рабочих. Владелец может наблюдать результат работы сотрудников, с каждым из которых подписывается договор, но не может различать квалификацию кандидатов, а сотрудники могут. Работники различаются по квалификации θ. В нашей модели мы рассматриваем ситуацию, когда есть три типа работников: $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3$, с вероятностью появления на собеседовании каждого типа p_1, p_2, p_3. Владелец максимизирует сегодняшнюю стоимость своего дохода, который равен сумме талантов сотрудников $y_t = \theta_a + \theta_b$, $y = \sum_{t=0}^{\infty} \delta^t y_t$ ($\delta \in (0,1)$ есть временной дисконтирующий фактор, одинаковый для всех). Будем считать для определенности, что θ_1 много меньше чем θ_3 , θ_2 .Сотрудник максимизирует сегодняшнее значение своей ожидаемой полезности. Полезность одного периода есть сумма полезности от наличия работы и бонус, который может заплатить работодатель. Мы считаем эту полезность фиксированной и одинаковой для всех агентов. Бонус в нашей модели определяется механизмом (контрактом), который создает владелец.

3. Модель и анализ модели

Социальным оптимумом в данной модели было бы нанимать сотрудника вместо наиболее слабого из работающих сотрудников в том случае, если кандидат его лучше.Владелец максимизирует дисконтированную прибыль с помощью найма лучших сотрудников. В случаях, когда владелец имеет работника с θ_1, он всегда возьмет нового. Если владелец имеет сотрудника с θ_3 ,то он может отдать право нанимать кандидатов этому сотруднику. Такой сотрудник не имеет стимулов обманывать, так как он знает, что владелец не сможет найти ему лучшую замену. Случай, когда у владельца два сотрудника с θ_2 , более сложен. В таком случае владелец должен мотивировать сотрудников честно раскрыть тип кандидата. Один из способов сделать это - дать одному из агентов бонус, если он наймет θ_3 работника. Бонус b определим дисконтированной суммой

$$b = \sum_{t=0}^{\infty} p_3 (1-p_3)^t \delta^{t+1} w \Rightarrow b = \frac{\delta p_3 w}{1-\delta+p_3\delta} \qquad (1)$$

p_i здесь вероятность прихода работника с θ_i .Внедряя бонус, владелец потеряет следующий ожидаемый доход:

$$B = \sum_{t=0}^{\infty} p_3 (1-p_3)^t \delta^t b \Rightarrow B = \frac{\delta p_3 w}{(1-\delta+p_3\delta)^2} \qquad (2)$$

Таким образом, общий ожидаемый доход владельца от наличия двух агентов с θ_2 и внедренным бонусом (1) будет равен

$$V_{22bonus} = \frac{(1-p_3)(2\theta_2) + p_3(\theta_2 + \theta_3 + \delta V_{23})}{1-\delta+\delta p_3} - B \quad (3)$$

При данной опции владелец получит двух сотрудников с θ_2 и θ_3. После этого он бесплатно делегирует наём кандидатов работнику с θ_3. Владелец получит следующий ожидаемый доход от наличия сотрудников с θ_2 и θ_3.

$$V_{23} = (1-p_3)(\theta_2 + \theta_3 + p_3\delta V_{33}) + p_3(2\theta_3 + \delta V_{33}),\ V_{33} = \frac{2\theta_3}{1-\delta} \quad (4)$$

Заметим, что в случае, когда владелец использует бонус, механизм достигает социального оптимума, в том смысле, что трудовой коллектив (включая владельца) не может заработать больше (однако происходит перераспределение дохода от владельца к сотруднику в виде бонуса). Это происходит по той причине, что принимается оптимальное решение о найме работника.Кроме того, владелец может ничего не делать и сохранить сотрудников с θ_2. В этом случае он получит ожидаемый доход $V_{22} = \frac{2\theta_2}{1-\delta}$.

Предложенный бонус (1) делает работника безразличным между тем, чтобы честно доложить о сильном кандидате, когда он придет и тем, что бы этого не делать и продолжать получать зарплату. Мы будем считать, что работник в таких случаях всегда выбирает честность (можно считать, что при прочих равных работник поступает, так как будет лучше для других).Если бонус отсутствует, то работник получает меньше, если честно говорит, поэтому стимулов к честности у него нет. Таким образом, в данной постановке есть два возможных исхода: $(V_{22bonus}, \frac{w}{1-\delta})$ и $(V_{22}, \frac{w}{1-\delta})$.

Исследуем, какой из них будет выбран в том или ином случае.Во-первых, мы можем увидеть, что для небольших значений δ платить бонус является лучшим выбором. Размер бонуса уменьшается с ростом δ, но размер дохода y не будет изменен. Интуиция здесь следующая: если величина δ мала, то работник не боится быть уволенным в следующем периоде, а владелец всё еще получит результат от умного агента без учета дисконта. Это можно увидеть, подставив δ =0, в опцию с бонусом и без бонуса и сравнить (по непрерывности в некоторой окрестности нуля знак будет сохраняться). В результате получим $V_{22bonus} = 2\theta_2 + p_3(\theta_3 - \theta_2) > 2\theta_2 = V_{22}$

Если p_3 мало, то сотрудник не боится быть уволенным после того, как его умный коллега найдет работника умнее, так как понимает, что вероятность этого мала и будущее не очень ценно, однако здесь важно чтобы величина w тоже была не слишком велика. Это можно увидеть из производной от $V_{22bouns}$, а также того, что $V_{22} = V_{22bonus}$ при $p_3 = 0$. В нуле

видно, что производная положительна при небольших значениях δ и w. Во-вторых, V_{22} не зависит от выгоды, которую получают агенты от того, что имеют работу. $V_{22bouns}$ отрицательно зависит от этой выгоды. Это говорит о том, что в компаниях с высокой заработной платой внедрение бонуса не будет эффективным.

Библиографический список

1. *Вагнер Г.* Основы исследования операций. Т. 2. Перевод с английского В. Я. Алтаева. М.: Мир, 1973 . - 489 с.
2. Исследование операций в экономике: Учебное пособие для вузов /Под редакцией Н.Ш. Кремера. М.: ЮНИТИ, 1997. – 407 с.
3. *Конюховский П.В.* Математические методы исследования операций в экономике – Спб.: Питер, 2000. – 208 с.
4. *Akerlof G. A.* The market for "lemons": Quality uncertainty and the market mechanism. //The quarterly journal of economics, Vol. 84, No. 31970. - p. 488–500.
5. *Cater B., Lew B., Pivato M*. Why tenure?// MPRA Paper No. 14823, 2009. - University Library of Munich, Germany. - 28 p. (Online at http://mpra.ub.uni-muenchen.de/14823/)
6. *Holmstrom B. H.* Moral hazard and observability. The Bell journal of economics, 1979, p. 74–91.
7. *Rothschild M., Stiglitz J.* Equilibrium in competitive insurance markets// An essay on the economics of imperfect information, Springer, 1992, p. 355-375.
8. *McPherson M.S., Winston G.C.* The economics of academic tenure: a relational perspective//Journal of Economic Behavior &Organization, 1983, v. 4(2), p. 163–184.

THE GAMES THEORY MODEL OF PROFESSIONAL CONTRACTS

Bushmeleva Irina V., Gorbushin Arseny A., Shatrov Anatoly V.

Vyatka StateUniversity, st. Moskovskaya, 36, Kirov,Russia, 610000, shatrov@vyatsu.ru

In this work we consider mathematical model of the hiring procedure. In the real sector of economy are employers often not capable to evaluate professional skills of certain job position candidate. In this conditions are specialist among the employees could be more informed about qualities of the candidate outside of the company. Under these conditions, the principal would like to use the knowledge of his employees to hire new smart (talented) ones. However, workers know that firm will maintain only a limited number of workplaces. That may be for various reasons: it may be a division inside big company and it is quoted a certain number of workplaces, it may be that the firm needs only a few numbers of qualified employees to produce its optimal output. Thus, workers have incentives to prevent more talented candidates from getting a job because those people may later recommend Principal to replace less gifted ones. In the paper we consider this conflict using modeling approach of game theory.

Key words:mathematical model, games theory,hiring procedure.

УДК 336.763

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПОРТФЕЛЯ В РАМКАХ ПОДХОДА БРИНСОНА С УЧЕТОМ ТРАНЗАКЦИОННЫХ ИЗДЕРЖЕК

Бячкова Анастасия Андреевна, Андреев Николай Анатольевич

Высшая Школа Экономики, Россия, г. Москва, ул. Мясницкая, 20,
abyachkova@gmail.com, nandreev@hse.ru

В данной работе рассматривается задача управления портфелем ценных бумаг, результативность которого оценивается в рамках подхода Бринсона, предполагающего разложение прироста капитала на компоненты в зависимости от решений, принимаемых в процессе управления. Стандартная модель Бринсона была модифицирована за счет включения в нее моделируемой величины транзакционных издержек. Данный тип издержек возникает при реструктуризации портфеля и оказывает значительное влияние на прирост капитала. Таким образом, предложенный обобщенный подход был использован и апробирован в рамках обозначенной задачи управления портфелем с учетом величины транзакционных издержек и ограничений, накладываемых на показатели результативности портфеля. Результаты статистических испытаний на модельных данных позволили сделать выводы о вкладе и взаимодействии отдельных компонент прироста капитала на низколиквидном рынке.

Ключевые слова: управление портфелем, модель Бринсона, транзакционные издержки, эффективность стратегии управления портфелем.

Управления портфелем ценным бумаг является комплексным процессом, предполагающим постоянную оценку стоимости его активов, а также - его общей результативности, в качестве которой может использоваться прирост капитала портфеля, учитывающий величину всех издержек, связанных с принятием решений и их реализацией.В результате регулярной оценки обозначенных характеристик портфеля принимаются решения о его полной или частичной реструктуризации: изменении весов позиций за счет ликвидации некоторой части активов, добавлении в портфель новых активов.

В рамках поставленной задачи рассматривается самофинансируемый портфель, управление которым осуществляется в дискретные моменты времени. В исследуемой модели процесса инвестиционного менеджмента управляющий портфелем принимает решение относительно структуры портфеля на ближайший период, реструктуризация проводится трейдером. Классическая модель Бринсона, как один из наиболее известных подходов к разложению показателей результативности (performance attribution), позволяет с помощью сравнения портфеля с бэнчмарком и разложения разности доходностей на компоненты сделать выводы о качестве принимаемых решений относительно управления портфелем с

© Бячкова А.А., Андреев Н.А., 2016 г.

точки зрения различных аспектов [4]. В данной работе разложение будет проводиться для прироста капитала, а не доходности, что обусловлено учетом неявных транзакционных издержек.

Капитал портфеля p в момент времени $t_n, n = 0,..., N$, определяется как сумма стоимостей рисковых и безрисковой позиций:

$$Wn = H_n^{X^T} X_n + H_n^{Y^T} Y_n,$$

где X_n, Y_n – цены (многомерного) рискового и безрискового активов в момент времени t_n, $H_n^{X^T}$, $H_n^{Y^T}$ – объемы соответствующих активов.

Разложение доходности на компоненты и сравнение с бэнчмарком встречается в работе Фама [3] при анализе модели CAPM. В дальнейших работах [1], [2] анализируется влияние инвестиционной политики и инвестиционной стратегии, под которыми понимается принятие решений о составе классов активов и их весов в портфеле, на общую доходность портфеля. Стоит отметить, что в классическом подходе не учитываются транзакционные издержки при реструктуризации как оцениваемого портфеля, так и бэнчмарка, несмотря на то, что они могут оказать значительное влияние на доходность портфеля, особенно в период кризиса. В данной работе предпринята попытка учесть некоторые обозначенные недостатки модели Бринсона. Вложения в портфель будут рассматриваться на уровне отдельных активов, а не классов, чем объясняется отсутствие в разложении компоненты "выбор активов" ("stockselection").

С учетом самофинансируемости изменение капитала портфеля p в момент времени t_n определяется как

$$\Delta W_{p,n} = H_{p,n}^{X^T} \Delta X_n + H_{p,n}^{Y^T} \Delta Y_n - G_{p,n}^T M_{p,n},$$

где $G_{p,n}^T$ – объем транзакции, совершенный за период времени $t_n - t_{n-1}$, реализовавшиеся $M_{p,n}$ при реструктуризации транзакционные издержки на единицу рискового актива. Тогда разложение Бринсона для разности стоимостей рассматриваемого портфеля и бэнчмарка b в конце периода выглядит следующим образом:

$$W_{p,n} - W_{b,n} = \underbrace{[H_{p,n}^{X^T} - H_{b,n}^{X^T}]\Delta X_n}_{(1a)} + \underbrace{[H_{p,n}^{Y^T} - H_{b,n}^{Y^T}]\Delta Y_n}_{(1b)} -$$
$$- \underbrace{[G_{p,n}^T - G_{b,n}^T]M_{b,n}}_{(2)} - \underbrace{G_{b,n}^T[M_{p,n} - M_{b,n}]}_{(3)} - \underbrace{[G_{p,n} - G_{b,n}]^T[M_{p,n} - M_{b,n}]}_{(4)}$$

Компоненты $(1a),(1b)$ соответствуют "распределению капитала" («assetallocation») в классической модели Бринсона. Суммарная величина данной компоненты позволяет сделать

вывод, насколько удачно был распределен капитал портфеля по сравнению с бэнчмарком. Компонента (2) может быть интерпретирована как "распределение капитала по ликвидности" («liquidityallocation») и отражает умение управляющего производить реструктуризацию, изменяя в основном ликвидную часть портфеля и не совершая больших сделок с неликвидными активами. Компонента (3) может быть обозначена как "влияние ликвидности" («liquidityimpact»). Величина данной компоненты зависит от умения трейдера торговать на рынке с низкой ликвидностью и положительна, если стратегия трейдера влечет бóльшие издержки, чем бэнчмарк-стратегия для того же объема. Компонента (4) включает элементы всех выше описанных компонент и может быть проинтерпретирована по аналогии с необъясненным остатком ("interaction") в модели Бринсона.

Предложенный подход к разложению прироста капитала портфеля был использован в рамках задачи управления портфелем с учетом ограничений, накладываемых на показатели результативности портфеля. Результаты, полученные с помощью метода симуляций Монте-Карло на модельных данных, позволили сделать детальные выводы о вкладе и взаимодействии отдельных компонент прироста капитала на низколиквидном рынке.

Библиографическийсписок

1. *Brinson G. P., Fachler N.* Measuring non-US. equity portfolio performance //The Journal of Portfolio Management. 1985. Vol. 11. №. 3. p. 73-76.
2. *Brinson G.P., Hood L. R., Beebower G. L.* Determinants of portfolio performance //Financial Analysts Journal. 1995, Vol. 51, №. 1, p. 133-138.
3. *Fama E. F.* Components of investment performance //The Journal of finance. 1972, Vol. 27, №. 3, p. 551-568.
4. *Laker D.* Fundamental of Performance Attribution: The Brinson Model // PRA Newsletter, 2002.

MODELING AND ANALYSIS OF PORTFOLIO PERFORMANCE ACCORDING TO BRINSON APPROACH WITH TRANSACTION COSTS

Byachkova Anastasiya A., Andreev Nikolay A.

Higher School of Economics, st. Myasnitskaya, 20,
Russia, Moscow, abyachkova@gmail.com, nandreev@hse.ru

In this paper we consider the problem of portfolio management, which efficiency is evaluatedaccording to the Brinson approach basedon the decomposition of capital growthinto the components which depend on the decisions made in the management process. Brinson standard model has been modified by including the value of transaction costs. This type of costs arises in the

process of portfolio restructuring and has a significant impact on the capital growth. Thus, the proposed general approach has been used and tested for the designated portfolio management problem taking into account the value of transaction costs and constraints on portfolio performance characteristics. The results of statistical tests on simulated data allow to draw conclusions about the contribution and interaction of individual components of capital gains on liquid markets.

Key words: portfolio management, Brinson model, transaction costs, performance attribution.

УДК 519.217.2

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭКОНОМИКЕ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА РИСКОВ В СТРАХОВАНИИ ПРИ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ

Валитов Дамир Ильдарович, Спивак Семен Израилевич, Райманова Гульназ Курбангалеевна

Башкирский Государственный университет, 450076, Россия, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32, damirvalitov@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена активно развивающимся актуарным исследованиям по анализу рисков в страховании. В качестве примера использования методологии и анализа построения актуарной модели медицинского страхования рассмотрен процесс заболевания сахарным диабетом. Автором статьи проведен подробный актуарный анализ математической модели, поставленные в работе задачи решены с использованием теории марковских процессов, теории графов, интервального анализа, математической теории двойственности для задач линейного программирования. Автором на основе большого эмпирического материала разработана математическая модель и компьютерная программа, с помощью которых был произведен анализ реальных данных по заболеванию сахарным диабетом. Проведенные исследования дают специалистам по медицинскому страхованию реальные механизмы расчета страховых тарифов. Результаты работы предоставят импульс для дальнейших исследований по анализу рисков в страховании.

Ключевые слова: сахарный диабет, актуарные расчеты, марковские процессы, интенсивности перехода, вероятность, уравнение Колмогорова, граф состояний, страхование.

Научное направления, изучающее применение математических методов и моделей в страховании, называется актуарная математика. Одним из ярких примеров процесса многих состояний являются задачи медицинского страхования. Картина заболеваемости той или иной болезнью может быть описана методом математического моделирования с помощью марковских процессов[1].

Случайный процесс называется марковским, если он обладает следующим свойством: для любого момента времени вероятность любого состояния системы в будущем зависит только от ее состояния в настоящем и не зависит от того, когда и каким образом система пришла в это состояние[2]. С учетом непрерывности времени наиболее подходящими из всех типов марковских процессов будут являться марковские случайные процессы с дискретными состояниями и непрерывным временем.

Рассмотрим общий вид марковского процесса и его свойства.Обозначим через X(t) состояние индивида в возрасте t ($t\geq 0$). Определим стохастический процесс, как $\{X(t), t\geq 0\}$. Предположим, что имеется конечное число состояний, пронумерованных 1,2,...n, т.е. процесс

© Валитов Д.И., Спивак С.И., Райманова Г.К., 2016 г.

имеет пространство состояний {1,2,…,n}. Тогда {X(t), t≥0} - Марковский процесс, если для любых s, t≥0 и i, j, x(u)∈{1,2,…n},

$$\Pr\{X(s+t)=j \mid X(s)=i, X(u)=x(u), 0 \le u < s\} = \Pr\{X(s+t)=j \mid X(s)=i\}$$

То есть будущее процесса (после момента времени s) зависит только от состояния в момент времени s и не зависит от истории процесса до момента s [4].

Определим функцию вероятности перехода

$$p_{ij}(s, s+t) \equiv \Pr\{X(s+t)=j \mid X(s)=i\},\ i,\ j \in \{1,2,...n\},\ \sum_{j=1}^{n} p_{ij}(s, s+t)=1$$ для любого t≥0.

Предположим также существование пределов $\mu_{ij}(t) = \lim_{h\to 0} \frac{p_{ij}(t, t+h)}{h}$, $i,j \in \{1,2\ldots n\}$, $i \neq j$.

При $i \neq j$ μ_{ij}- это интенсивность перехода их состояния i в состояние j. Легко видеть, что при s, t, u≥0

$$p_{ij}(s, s+t+u) = \sum_{l=1}^{n} p_{il}(s, s+t)\, p_{lj}(s+t, s+t+u), \qquad i,j \in \{1,2,\ldots n\}. \qquad (1)$$

Уравнения (1) известны как уравнения Колмогорова-Чепмэна. [5]

При вычислении актуарных значений нам понадобятся функции вероятности перехода. Интенсивности переходов и функции вероятности перехода связаны с прямыми и обратными уравнениями Колмогорова[3]

$$\frac{\partial}{\partial t} p_{ij}(s, s+t) = \sum_{l=1}^{n} p_{il}(s, s+t)\mu_{lj}(s+t) \qquad (2) \qquad \frac{\partial}{\partial t} p_{ij}(s, s+t) = -\sum_{l=1}^{n} \mu_{li}(s)\, p_{lj}(s, s+t) \qquad (3)$$

соответственно, с граничными условиями $p_{ij}(s,s) = \delta_{ij}$, где - $\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \textit{если } i=j, \\ 0 & \textit{иначе.} \end{cases}$

В качестве примера рассмотрим процесс заболевания сахарным диабетом, имеющего четыре состояния системы: A_1– «здоров», A_2 – «болен сахарным диабетом инсулин независим», A_3 – «болен сахарным диабетом инсулин зависим», A_4 – «умер», где λ_{ij} - интенсивности переходов из одного состояния в другое. Соответствующая схема представлена на Рис. 1.

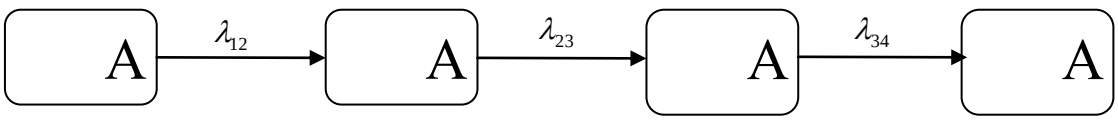


Рис. 1.Граф состояний

Для схемы, представленной на рис. 1, система дифференциальных уравнений Колмогорова имеет вид:

$$\begin{cases} \dfrac{dp_1(t)}{dt} = -\lambda_{12} p_1(t) \\ \dfrac{dp_2(t)}{dt} = \lambda_{12} p_1(t) - \lambda_{23} p_2(t) \\ \dfrac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_{23} p_2(t) - \lambda_{34} p_3(t) \\ \dfrac{dp_4(t)}{dt} = \lambda_{34} p_3(t) \end{cases} \quad (4)$$

При задании начальных условий предполагается, что первоначально система находится в состоянии «здоров»: $p_1(0) = 1,\ p_2(0) = 0,\ p_3(0) = 0,\ p_4(0) = 0$

Кроме того, для любого момента времени t выполняется нормировочное условие

$$p_1(t) + p_2(t) + p_3(t) + p_4(t) = 1$$

Когда интенсивности переходов известны, ситуация сводится к прямой задаче – решению уравнений Колмогорова. Но если интенсивности переходов неизвестны, возникает обратная задача, то есть задача оценивания интенсивностей переходов по статистическим данным. Для прямой и обратной задачи разработана программа на C++. Методом Кутта—Мерсона рассчитываются вероятности нахождения системы в том или ином состоянии при средних значениях интенсивностей, которые были найдены на основе статистической информации.На основании средних значений показателей интенсивностей получаем расчетные значения вероятностей нахождения системы в состояниях A_i.

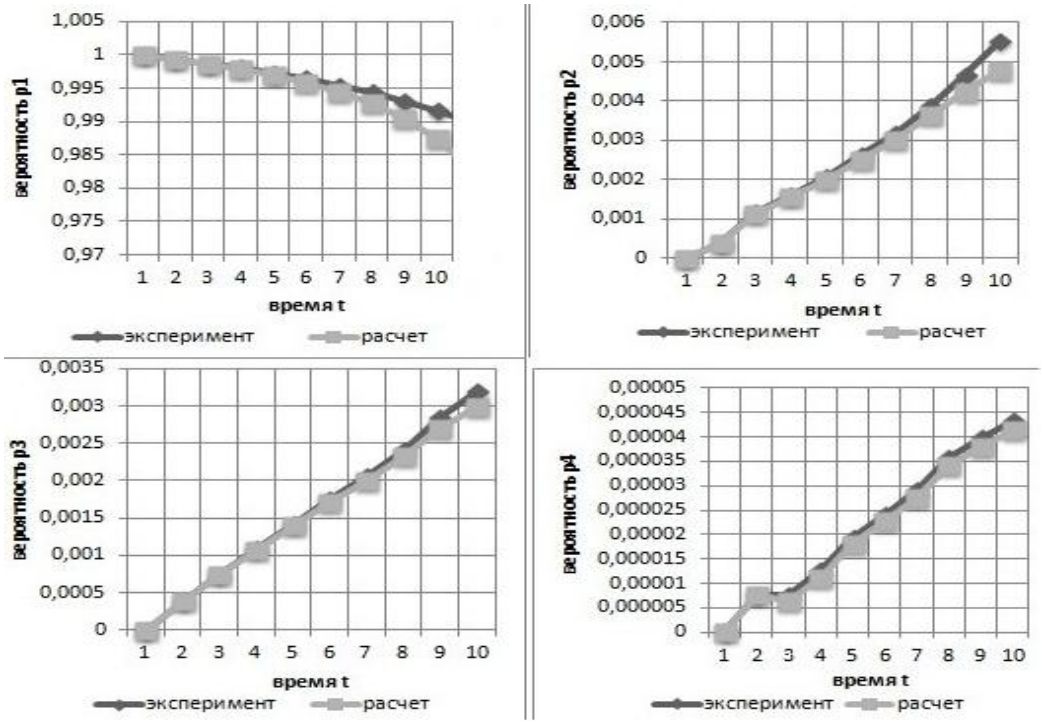


Рис. 2.Графическое сравнение экспериментальных и расчетных данных.

Видно, что расчет достаточно хорошо сопоставим с экспериментом. Сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными дает основание утверждать, что модель, описываемая системой (6), адекватна реальным данным и может быть использована при практических расчетах определения интервалов необходимых средств для лечения сахарного диабета.

Библиографический список

1. *Райманова Г.К.* Математическое моделирование в задачах медицинского страхования профилактики и лечения туберкулеза. Диссертация. Уфа, 2009.
2. *Спивак С.И., Райманова Г.К., Абдюшева С.Р.* Обратные задачи для марковских моделей медицинского страхования // Страховое Дело. 2008. №9(188). С.36-42.
3. *Абдюшева С.Р., Спивак С.И.* Обратные задачи для марковских моделей // Система управления и информационные технологии. 2008. №3(33).
4. *Канторович Л.В.* Сибирский математический журнал. 1962. Т.3. №5. С.701-709.
5. *Фалин Г.И., Фалин А.И.* Введение в актуарную математику. М.:Финансово-актуарный центр МГУ им. М.В.Ломоносова. 1994.

ACTUARIAL CALCULATIONS IN HEALTH INSURANCE

Valitov Damir I., Spivak Semen I., Raimanova Gulnaz K.

Bashkir State University, st. Zaki Validi, 32, Ufa, Russia, 450076, damirvalitov@yandex.ru

Abstract. The article is dedicated to actively developing actuarial studies on risk analysis in insurance. As an example of the methodology and analysis of the construction of the actuarial model of health insurance through the process of diabetes. The author of the article, a detailed actuarial analysis of the mathematical model, put in work tasks are solved using the theory of Markov processes, graph theory, interval analysis, mathematical duality theory for linear programming problems. Author on the basis of a large empirical material developed a mathematical model and a computer program with which was produced by the analysis of real data on the disease diabetes. The studies provide health insurance professionals real mechanisms for calculating insurance rates. The results of the work will provide impetus for further research on risk analysis in insurance.

Key words: diabetes, actuarial calculations, Markov processes, the intensity of the transition probability, Kolmogorov equation, the state graph, insurance, uncertainty intervals.

УДК 004.02

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ВЫБОРА МЕТОДИК ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Вотинцева Вероника Олеговна

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 614060, Россия, г. Пермь, ул. бульвар Гагарина, 37а, veronika_22.93@mail.ru

Сахипова Марина Станиславовна

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 614060, Россия, г. Пермь, ул. бульвар Гагарина, 37а, afamarisha@inbox.ru

Дерябин Александр Иванович

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 614060, Россия, г. Пермь, ул. бульвар Гагарина, 37а,aderyabin@hse.ru

Проведен сравнительный анализ существующих методик проектирования системной архитектуры предприятия. Для анализа методик использовался метод анализа иерархий. Системная архитектура состоит из связанных архитектур – архитектуры данных, архитектуры приложений и технологической архитектуры. Для разработки системной архитектуры необязательно применять только одну методику. Можно комбинировать методики для проектирования каждой отдельной архитектуры. Так как системная архитектура предприятия напрямую влияет на эффективность его функционирования, требуется принять правильное решение при выборе методик проектирования. Ведь проектирование по некорректно подобранной методике может не только затянуть процесс создания архитектуры, но и привести к увеличению затрат на поддержание системной архитектуры, спроектированной по конкретной методике, в актуальном состоянии. Метод анализа иерархий позволяет математически обосновать принятие решения. Результатом работы является выбор методик для проектирования архитектуры данных, архитектуры приложений и технологической архитектуры.

Ключевые слова: архитектура предприятия, системная архитектура, сравнительный анализ, метод анализа иерархий.

Интеграция бизнеса и информационных систем увеличивается с каждым годом. Организации стремятся связать свои бизнес-цели и системную архитектуру для эффективного использования ресурсов [1]. Решающее значение, при выборе конкретных аппаратных и программных компонентов IT-инфраструктуры, имеет их максимальное соответствие специфике поставленных задач. Поэтому при разработке архитектуры предприятия следует уделить внимание выбору методики ее проектирования, которая

© Вотинцева В.О., Сахипова М.С., Дерябин А.И., 2016 г.

должна соответствовать предметной области и удовлетворять основным потребностям организации [2].

Согласно исследованию Gartner «Magic Quadrant for Enterprise Architecture Consultancies» (от 24.06.2015) на разработку бизнес-архитектуры уходит 27% рабочего времени, а на системную архитектуру – 73%. При этом в разработке архитектуры предприятия преобладает гибридный подход (в 54%). Гибридный подход – это комбинирование нескольких методик для создания одной архитектуры [3]. Системная архитектура состоит из 3 взаимосвязанных архитектур (архитектуры данных, архитектуры приложений и технологической архитектуры), поэтому при ее разработке могут применяться несколько методик. Цельюданного исследования является определение наиболее подходящих методик для проектирования системной архитектуры. В качестве объекта исследования определена системная архитектура предприятия, а предмет исследования – сравнительный анализ существующих методик проектирования системной архитектуры.

Для исследования возьмем наиболее популярные методики, такие как модель Захмана, TOGAF, методология Gartner и FEAF. Ведущие методологии проектирования архитектуры предприятия достаточно сильно отличаются друг от друга, поэтому необходимо сформировать критерии для оценки. После анализа существующих исследований, стандартов и ГОСТ по проектированию архитектуры предприятия были выделены следующие критерии выбора методик разработки системной архитектуры [4]:

1. Полнота построения модели – определяет, насколько подробно описана модель, пригодна ли методология для описания разных артефактов архитектуры.
2. Простота создания модели – определяет легкость, удобство и понятность пошагового описания создания модели архитектуры.
3. Ориентированность на эталонные модели – определяет, насколько методология полезна для создания набора эталонных моделей.
4. Эффективность использования и адаптация – определяет, насколько подробно методология воплощает в жизнь представление об архитектуре предприятия.
5. Ориентированность на снижение затрат – определяет ориентированность методологии на бизнес-цели.
6. Структурная и функциональная декомпозиция предприятия – определяет, насколько методология будет полезной при эффективном разделении предприятия на отделы.
7. Независимость от рынка поставщиков услуг – определяет вероятность того, что при внедрении конкретной методологии организация окажется привязанной к

конкретной консалтинговой компании. Высокая оценка означает низкую степень привязки к поставщикам услуг.

8. Доступность информации о методологии – определяет, существуют ли в свободном доступе бесплатные материалы для построения архитектуры предприятия выбранной методологией.
9. Окупаемость – определяет длительность периода, в течение которого методология будет использоваться на предприятии, прежде чем будет подобрано решение, повышающее ценность бизнеса и ориентированное на бизнес-цели.
10. Стоимость проектирования – определяет стоимость процесса проектирования архитектуры предприятия.

Иерархия выбора методики проектирования системной архитектуры для данного исследования выглядит следующим образом (см.рис. 1).

Рис 4. Иерархия выбора методики проектирования системной архитектуры предприятия

Для того чтобы провести сравнительный анализ, необходимо разработать систему оценки методик. Для обоснования оценки критериев воспользуемся методом анализа иерархии (МАИ). Для оценки соответствия возможностей методологии критерию будем использовать шкалу Саати. С помощью матриц парных сравнений сопоставим между собой разные критерии и альтернативы. Чтобы сравнить степень проявления признака в методологии используем следующие оценки: 1 – равноценность, 3 – умеренное превосходство, 5 – сильное превосходство, 7 – очень сильное превосходство, 9 – высшее превосходство. Также используются четные числа для определения промежуточных

степеней. Главное достоинство процедуры заключается в том, что веса критериев и оценки по субъективным критериям не назначаются прямым волевым методом, а рассчитываются с помощью формул, поэтому такой анализ позволит получитьболее точные результаты [5]. Сначала проведем сравнение критериев между собой, для того чтобы определить ценность каждого критерия. Затем относительно каждого критерия будем сравнивать альтернативы, для оценки соответствия каждой методологии каждому критерию.

После проведения сравнения значимости критериев, были получены следующие результаты (см.табл.1). Оценка согласованности данной матрицы составляет 9,87%.

Таблица 1. Приоритет критериев для выбора методики

Критерий	Приоритет
Стоимость проектирования	0,22
Окупаемость	0,20
Ориентированность на снижение затрат	0,17
Полнота модели	0,12
Простота создания модели	0,09
Эффективность использования и адаптация	0,07
Разбиение предприятия на отделы	0,03
Доступность информации о методологии	0,03
Независимость от поставщика услуг	0,03
Эталонные модели	0,02

Далее проводя сравнение 4 выбранных методик по каждому критерию, получим 10 матриц парных сравнений. Для каждой матрицы посчитаем оценку согласованности матриц, чтобы уменьшить ошибки в матрице парных сравнений и избежать рассогласованности оценок. Согласованности матриц колеблются от 0,08% до 7,04%. В МАИ считается, что нормальный процент ошибки от 1 до 10%, от 11 до 20% – приемлемый. Если же процент ошибки больше 20%, то лучше перепроверить результаты [5].

В итоге, была определена степень важности проявления каждого критерия, которая будет использоваться далее, в матрице парных сравнений для определения самой эффективной методики проектирования системной архитектуры. Также каждая матрица сравнения помогла выявить приоритет каждой методики.

В итоговой таблице представлен сравнительный анализ основных наиболее популярных методик проектирования архитектуры данных (см.табл.2) на основе выделенных ранее критериев. Данные в таблице берутся из матриц парных сравнений для каждого критерия. Приоритет за каждый критерий выставляется из соответствующей матрицы парных сравнений. Итоговая оценка выставляется путем сложения произведений оценки по критерию и значимости критерия.

Системную архитектуру можно рассматривать как единое целое или разделить ее на отдельные составляющие: архитектуру данных, архитектуру приложений и технологическую архитектуру. А также можно объединять их группы, так как архитектуры сильно

взаимосвязаны. В целях экономии времени будем отдельно рассматривать архитектуру данных, а технологическую и архитектуру приложений будем анализировать вместе.

Таблица 2. Сравнительный анализ методик проектирования архитектуры данных

	Полнота модели	Простота создания модели	Эталонные модели	Эффективность использования	Ориентированность на снижение затрат	Декомпозиция	Независимость от поставщиков услуг	Доступность информации	Окупаемость	Стоимость проектирования	ИТОГ
Значимость критерия	00,12	0,09	0,020	0,07	0,17	0,03	0,03	0,03	0,20	0,22	
Модель Захмана	00,18	0,04	0,09	0,08	0,06	0,05	0,32	0,32	0,06	0,32	0,149
TOGAF	00,34	0,35	0,23	0,25	0,31	0,21	0,32	0,32	0,45	0,45	0,370
FEAF	00,42	0,53	0,62	0,62	0,06	0,53	0,32	0,32	0,06	0,09	0,236
Gartner	00,05	0,08	0,06	0,06	0,58	0,21	0,04	0,04	0,44	0,13	0,245

Процедуру повторяем и для сравнительного анализа методик проектирования архитектуры приложений и технологической архитектуры (см.табл.3).

Таблица 3. Сравнительный анализ методик проектирования архитектуры приложений и технологической архитектуры

	Полнота модели	Простота создания модели	Эталонные модели	Эффективность использования	Ориентированность на снижение затрат	Декомпозиция	Независимость от поставщиков услуг	Доступность информации	Окупаемость	Стоимость проектирования	ИТОГ
Значимость критерия	0,12	0,09	0,020	0,07	0,17	0,03	0,03	0,03	0,20	0,22	
Модель Захмана	0,59	0,17	0,09	0,07	0,06	0,05	0,15	0,14	0,06	0,32	0,199
TOGAF	0,28	0,65	0,23	0,16	0,31	0,21	0,61	0,68	0,45	0,45	0,404
FEAF	0,08	0,05	0,62	0,65	0,06	0,53	0,17	0,12	0,06	0,09	0,143
Gartner	0,05	0,13	0,06	0,12	0,58	0,21	0,07	0,06	0,44	0,13	0,255

После проведения анализа существующих методик методом анализа иерархии было выявлено, что самой удобной и универсальной является методика TOGAF, так как результаты по данной методике самые лучшие. Именно эту методику будем использовать для проектирования всей системной архитектуры. При различных результатах необходимо было бы рассматривать разные методики для построения архитектуры данных, приложений и ИТ-инфрастурктуры.

Таким образом, метод анализа иерархий помогает решить задачу выбора альтернатив с помощью многокритериальной системы рейтингования. Метод Саати позволяет провести оценку важности учета каждого решения, а также оценку важности каждого фактора, влияющего на приоритет этих решений.

Метод анализа иерархий требует значительных временных затрат на проведение расчетов, для данного исследования все вычисления выполнялись в среде MSExcel. Данное программное средство является не самым удобным для проведения таких расчетов, так как случайная опечатка может сильно повлиять на значения итоговых приоритетов. В настоящее время отсутствуют бесплатные удобные инструменты, автоматизирующие эти расчеты. Поэтому задача автоматизации метода анализа иерархий является весьма актуальной.

Библиографический список

1. *Калянов Г.Н.,* Архитектура предприятия и инструменты ее моделирования, Автоматизация промышленности, 2004. [Электронный ресурс] [Режим доступа: http://avtprom.ru/arkhitektura-predpriyatiya-i-instrumenty] [Проверено 04.04.2016].
2. *Галактионов В.И.,* Системная архитектура и ее место в архитектуре предприятия // Директор информациооной службы №5, 2002. [Электронный ресурс] [Режим доступа: http://www.osp.ru/cio/2002/05/172142/] [Проверено 04.04.2016].
3. *Cameron B.H., McMillian E.* Analyzing the current trends in enterprise architecture frameworks. Journal of Enterprise Architecture, February, 2013. [Электронныйресурс] [Режим доступа: http://ea.ist.psu.edu/documents/journal_feb2013_cameron_2.pdf] [Проверено: 04.04.2016].
4. *Сешнс Р.,* Сравнение четырех ведущих методологий построения архитектуры предприятия. [Электронный ресурс] [Режим доступа: https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/ee914379.aspx] [Проверено 04.04.2016].
5. *Саати Т.Л.,* Об измерении неосязаемого. Подход к относительным измерениям на основе главного собственного вектора матрицы парных сравнений // Cloud Of Science Т.2. № 1, 2015. [Электронный ресурс] [Режим доступа: http://cloudofscience .ru/sites/default/files/pdf/CoS_2_5.pdf] [Проверено 04.04.2016].

ANALYTIC HIERARCHY PROCESS APPLICATION FOR CHOOSING DESIGN TECHNIQUES OF ENTERPRISE SYSTEM ARCHITECTURE

Votintseva Veronika O.

National Research University “Higher School of Economics”, st. bulvar Gagarina,37a, Perm,Russia, 614060, veronika_22.93@mail.ru

Sahipova Marina S.

National Research University “Higher School of Economics”, st. bulvar Gagarina,37a, Perm,Russia, 614060, afamarisha@inbox.ru

Deryabin Alexandr I.

National Research University “Higher School of Economics”, st. bulvar Gagarina,37a, Perm,Russia, 614060, aderyabin@hse.ru

Thecomparativeanalysisofexistingdesign techniques of enterprise system architecture is carried out. Analytic hierarchy process is used for techniquesanalysis.Systemarchitectureconsistsofnextadjacentarchitectures: data architecture, application architecture and technology architecture. Itisoptionaltoapplyonlyonetechniquefor system architecture development. Itispossibletocombinetechniquesforeacharchitecture design. Asenterprisesystemarchitecturedirectlyinfluencesonitsfunctioningefficiency, it is required to make the correct decision design techniques choosing.Developmentwithincorrectlychosentechniquecannotonlydelaycreating architecture process and also lead to increase maintain cost of actual system architecture, designed by specific technique.Analytichierarchyprocessallowsprovingdecision makingby means of mathematical justification. Theresultsofworkaretechniqueschoice fordesignofdata architecture, application architecture and technology architecture.

Key words: enterprise architecture, system architecture, analytic hierarchy process, comparative analysis.

УДК 004.3

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СРЕДЕ РАЗРАБОТКИ ANYLOGIC

Елтышев Александр Владимирович

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 614000, Россия,г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29, eltysheval322@gmail.com

В данной работе рассматриваются аналитическая и гибридная модели нейронной сети самомаршрутизирующегося нейросетевогоаналого-цифрового преобразователя. Была выбрана упрощенная модель нейронной сети, определены ее начальные параметры. В качестве примеров аналитического и гибридного анализов нейронной сети на отказоустойчивость были выбраны сети с одним неисправным основным нейронов, с двумя последовательно расположенными неисправными нейронами и с двумя неисправными нейронами, которые не являются соседними друг другу. Описаны этапы выполнения аналитических расчетов с помощью теории систем массового обслуживания, тип систем массового обслуживания для рассматриваемой нейронной сети, вычисление интенсивностей входного и выходного потоков, составление графа состояний с учетом начальных параметров сети, решение систем линейных алгебраических уравнений. Описана логика работы гибридной модели нейронной сети. Произведен сравнительный анализ результатов вышеперечисленных моделей.

*Ключевые слова:*нейросетевой самомаршрутизирующийся аналого-цифровой преобразователь, нейронная сеть, основной нейрон, аналитическая модель, гибридная модель.

В настоящее время разрабатывается самомаршрутизирующийся нейросетевой аналого-цифровой преобразователь (АЦП) для систем, связанных с фактором риска: система пожаротушения, система жизнеобеспечения пациента и т.д.[1]. Ключевым параметром данного устройства является высокая отказоустойчивость, обеспечиваемая за счет его потоковой динамической архитектуры, которая позволяет сохранять работоспособность путем изменения структуры преобразователя.

На начальном этапе разработки для получения оценки отказоустойчивости самомаршрутизирующегося нейросетевого АЦП[2], было решено использовать упрощенную нейронную сеть (НС) (рис. 1), для которой создать аналитическую модель с помощью теории систем массового обслуживания со следующими начальными параметрами: количество обслуживающих основных нейронов(ОН) $n = 4$; максимальное количество входных заявок N=2;разрядность формируемых ИАЦП (возможное количество ОН, требуемых для одной заявки) $m = (1;2)$.

© Елтышев А.В., 2016 г.

Упрощенная НС (рис. 1), представляет собой сеть, которая имеет кольцевую структуру. Каждый ОН может стать входным и, согласно вышеперечисленным начальным параметрам, имеет N входов (источников).

В данной работе были рассмотрены следующие примеры неполнорабочей НС:

1) НС с одним сломанным нейроном;

2) НС с двумя последовательно расположенными сломанными нейронами;

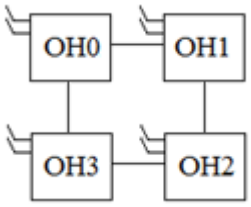


Рис. 1 Упрощенная НС

3) НС с двумя сломанными нейронами, расположенные через один исправный.

Чтобы определить с помощью какой СМО будет описываться работа рассматриваемой НС необходимо проанализировать свойства входного потока и дисциплину обслуживания заявок. Во-первых, входной поток является неоднородным, т.к. может запрашивать любое количество обслуживающих приборов из диапазона $m = (1;2)$. Во-вторых, отсутствует очередь на обслуживание, т.к. число входных потоков (источников) ограничено и каждый из них не будет генерировать новую заявку до тех пор, пока не обслужится предыдущая заявка, попавшая в систему через данный источник. Таким образом, аналитическая модель рассматриваемой НС будет являться векторной СМО с отказами[3].

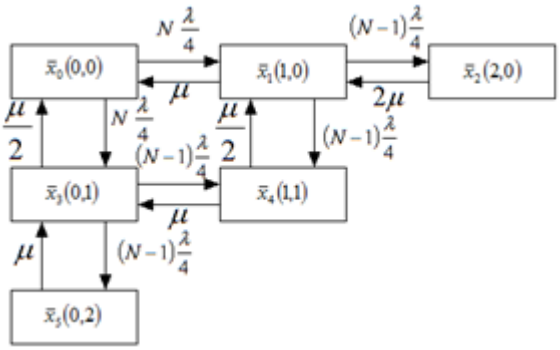


Рис. 2 Граф состояний СМО НС

Для векторной СМО построим граф состояний (рис. 2). Данный граф представляет собой совокупность состояний системы, переход между которыми осуществляется с определенной интенсивностью в случае обслуживания заявки или поступления новой заявки. Состояния СМО показывают сколько и какой разрядности заявок обслуживается в данный момент. Например, элемент графа $\bar{x}_0(0,0)$ соответствует состоянию, при котором в АЦП отсутствуют заявки и является начальным состоянием СМО;состоянию $\bar{x}_2(2,0)$соответствует наличии в АЦП двух заявок, требующие по 1 ОН для обслуживания и т.д.

Суммарная интенсивность входного потока для данного графа равна $\lambda = \frac{\lambda}{2} + \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{4} + \frac{\lambda}{4}$,где $\frac{\lambda}{2}$ является интенсивностью генерирования равновероятных входных заявоккаждым из N источников, а $\frac{\lambda}{4}$, в свою очередь, интенсивность каждой входной заявки, генерируемых источниками. Таким образом, интенсивность поступления

одной заявки равна $\frac{\lambda}{4}$, но с учетомприхода каждой новой заявки занимается один изN источников, следовательно, уменьшается и интенсивность перехода в следующее состояние. Интенсивность обслуживания, исходя из кольцевой структуры НС, находится как $\mu_m = \frac{k_m \mu_k}{m}$, где k_m — количество заявок, каждая из которых обслуживается m нейронами, $\mu_k = \frac{1}{t_{изk}}$ (где $t_{изk}$ — время измерения (обработки) одного ОН).

Чтобы перейти к дальнейшим расчетам граф (рис. 2)должен быть разбит на несколько линейных графов, которые начинаются от общего нулевого состояния $\bar{x}_0(0,0)$, из-за наличия цикла из состояний, таким образом, расчет вероятности отказа в обслуживании для преобразованного графапроизводится путем решения нескольких систем линейных алгебраический уравнений (СЛАУ) со следующими начальными условиями: $\sum_{i=0}^{n} p_i = 1, p_0(0) = 1, p_i(0) = 0$. Каждое СЛАУ будет состоять из числа уравнений, соответствующего числу состояний в данном линейном графе. Результатом будет являться сумма вероятностей переходов в состояния, в которых входная заявка получает отказ в обслуживании.

Для вышеприведенных примеров неполнорабочей НС были получены следующие формулы вероятности отказа:

1) $P_{отк} = \frac{2\lambda^2(2\lambda\mu + 6\mu^2)}{88\lambda\mu^2 + 51\lambda\mu^2 + 9\lambda^3 + 48\mu^3} = p(\bar{x}_5);$

2) $P_{отк} = \frac{4\lambda^2(2\lambda\mu + 6\mu^2)}{88\lambda\mu^2 + 51\lambda\mu^2 + 9\lambda^3 + 48\mu^3} = p(\bar{x}_4) + p(\bar{x}_5);$

3) $P_{отк} = \frac{4\lambda\mu(2\lambda + 6\mu)(2 + \lambda)}{88\lambda\mu^2 + 51\lambda\mu^2 + 9\lambda^3 + 48\mu^3} = p(\bar{x}_3) + p(\bar{x}_4) + p(\bar{x}_5).$

При этом стоит учесть, что с ростом значений начальных параметров СМО возрастают трудоемкость и время анализа, поэтому было решено разработать аналитическую модель АЦП в среде AnyLogic.

На рис. 3 представлена модельс заданными выше начальными параметрами, построенная из блоков диаграммы состояний и переходов с заданными интенсивностями, при этом присутствует элемент стартовой позиции работы модели в диаграмме состояний «statechart», обеспечивающий начальное условие для решения СЛАУ, в котором говорится,

что в начальный момент времени система находится в состоянии s00. Блоки s00, s01 и т.д. идентичны соответственно состояниям графа $\bar{x}_0(0,0)$, $\bar{x}_3(0,1)$ и т.д.

Нахождение вероятности отказа в такой модели осуществляется путем моделирования переходов агента [4] из состояния в состояние по графу (рис. 3). В случае перехода агента в не допустимое состояние срабатывает счетчик, который фиксируеттекущее значение времени моделирования, а при выходе из этого состояния происходит вычисление времени пребывания в нем. В итоге расчет вероятности отказа происходит через отношение времени,которое система находится в состоянии отказа, ко всему времени моделирования. Исходя из вышесказанного, разработанная модель является гибридной.

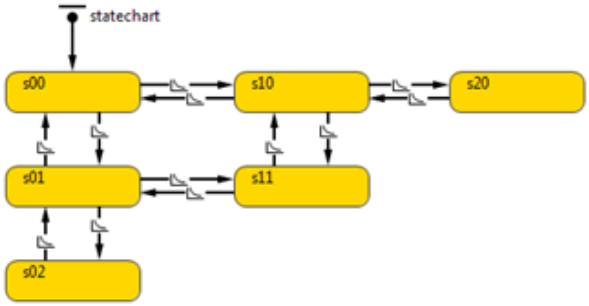
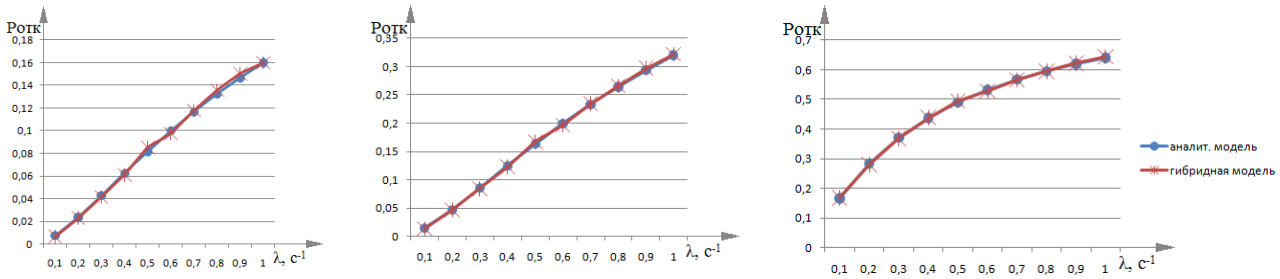


Рис. 3 Структура аналитической модели в AnyLogic

Таким образом, была получена гибридная модель, соответствующая аналитической, которая позволяет ускорить процесс расчетов.



а **Б** **в**

Рис. 4 — Графики зависимости вероятности отказа от входного потока для рассматриваемых примеров НС (а — НС с одним сломанным нейроном, б — НС с двумя последовательно расположенными сломанными нейронами, в — НС с двумя сломанными нейронами, расположенные через один исправный)

Исходя из вышепредставленных графиков (рис. 4), можно сделать вывод, что результаты разработанной гибридной модели идентичны результатам аналитической модели, что в свою очередь позволит в дальнейшем использовать разработанную гибридную модель для аналитического моделирования НС, однако такая модель не решает проблему масштабирования графа состояний, поэтому в дальнейшем планируется разработка гибридной модели нейронной сети АЦП с масштабированием.

Библиографический список

1. *Посягин А.И., Южаков А.А.*Разработка двухслойной нейронной сети для самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобразователя на основе нейронной сети// Электротехника. 2013. №11. С. 10-13.

2. *Елтышев А.В., Посягин А.И. Южаков А.А.* Анализ имитационной модели нейронной сети самомаршрутизирующегося аналого-цифрового преобраователя // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2015. №10. С. 21-25.
3. *МатушкинН.Н., Назаров А.А., Южаков А.А.* Мультипликативность распределения состояний замкнутой СМО при неоднородном входящем потоке // Информационные управляющие системы. Сб. научн. трудов. Пермь: ПермГТУ, 1996. С. 34-38.
4. *Даденков С.А., Кон Е.Л.* Анализ моделей и методов агентного и дискретно-событийного имитационного моделирования // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 5. С. 35-41.

METHOD OF BUILDING AN ANALYTICAL MODEL FOR THE SYSTEM OF MASS SERVICING IN THE 'ANYLOGIC' DEVELOPMENT ENVIRONMENT

Aleksandr Eltishev V.

State National Research Politechnical University of Perm, Komsomolsky Av. 29, Perm, Russia,614000, eltysheval322@gmail.com

The given work concerns the analytical and the hybrid models of a neuron network in the self-routing neuron-network analog-to-digital converter. A simplified model of a neuron network was chosen and its initial parameters were defined. As the examples of analytical and hybrid analyses for fault-tolerance of the neuron network there were chosen the networks with one inoperative basic neuron, with two inoperative neurons located sequentially and with two inoperative neurons located nonsequentially. There were described the stages of analytical calculation by means of the mass servicing systems theory, the type of mass servicing system for the considered neuron network, calculating the intensity of input and output streams, building the graph of conditions taking into account the initial parameters of the network, solving the linear algebraic equations. The logic of neuron network hybrid model operating was also described. The comparative analysis of mentioned models' results was conducted.

Key words: neuron-network self-routing analog-to-digital converter, neuron network, basic neuron, analytical model, hybrid model.

УДК 339.138

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ОПТИМАЛЬНОГО ПОДБОРА КАНАЛОВ МАРКЕТИНГОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Игошина Дарья Андреевна

Пермский филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 614070, Россия, г. Пермь, ул. Студенческая, 38, shitova.d@inbox.ru

В статье рассмотрен подход к разработке системы поддержки принятия решений (далее СППР) о выборе подходящего сочетания различных каналов маркетинговых коммуникаций online и offline при формировании программы продвижения. Особенность подхода состоит в автоматизации процесса принятия решения при построении оптимальной с точки зрения особенностей рынка, продукта и размера рекламного бюджета интегрированной программы продвижения продукта. В статье описаны необходимые для этого информационные и программные ресурсы, приведен пример результатов проектирования базы знаний, являющейся составной частью разрабатываемой системы.

Ключевые слова: интегрированные маркетинговые коммуникации, программа продвижения, экспертная система, система поддержки принятия решений.

В современной практике ведения бизнеса собственники и руководители фирм зачастую испытывают затруднения при выборе конкретного сочетания каналов маркетинговых коммуникаций, оптимально учитывающего специфику их бизнеса, особенности целевого сегмента, текущую ситуацию на рынке и бюджетные ограничения компании. С аналогичными проблемами сталкиваются и сотрудники организаций, ответственные за результаты продвижения продуктов (маркетологи, рекламисты, пиарщики). При этом разработка оптимального решения затруднена также в виду того, что разнообразие online и offline каналов продвижения продуктов требует учёта специфики большого количества внутренних и внешних факторов, влияющих на бизнес рекламодателя. Таким образом, в этой сфере имеет место необходимость решения задачи многокритериальной оптимизации, а так же разработка системы поддержки принятия решений, т.е. программной системы, которая путем сбора и анализа большого количества информации может влиять на процесс принятия решений организационного плана в бизнесе и предпринимательстве [4], [6].

Поэтому мы предлагаем подход, который базируется на принципе оптимизации расходов на маркетинг при достижении максимальной отдачи от используемых каналов маркетинговых коммуникаций (далее КМК) при заданных характеристиках внутренней и

© Игошина Д.А., 2016 г.

внешней среды компании-рекламодателя. В основе подхода лежит база данных о продукте, характеристиках рынка и целевом сегменте потребителей, а так же база знаний специалистов-маркетологов в соответствующей области.

СППР способна заменить опытного человека – эксперта (экспертов) в процессе выбора оптимального сочетания каналов маркетинговых коммуникаций, что представляется весьма актуальным в случае недоступности таких экспертов, либо в случае высокой цены оказываемых специалистом услуг. Дополнительным преимуществом использования СППР является то, что базу знаний такой системы можно развивать и пополнять, расширяя знания об особенностях новых продуктов, о соответствующих их продвижению оптимальных каналах коммуникаций, о типовых ситуациях на рынке продвижения товаров и др.

В результате проведённых исследований мы выяснили, что большинство распространенных на практике СППР в области маркетинга (сведений об СППР в области подбора оптимального сочетания КМК в доступных источниках нами не найдено) ориентированы на использование либо в рамках одной компании (внутрикорпоративные СППР), либо одной отрасли (например, СППР, применяемая на рынке хлебобулочной продукции [5]). Новизна разрабатываемой нами СППР состоит в том, что она включает в себя механизмы адаптации к специфике решения маркетинговых задач для разных рынков, продуктов и компаний.

В соответствии с современными тенденциями в области разработки интеллектуальных систем на принципах MDE (Model Driven Engeneering—подход к созданию и спецификации программных систем [1]) на начальной стадии разработки СППР необходимо спроектировать и отладить базу знаний этой системы в составе экспертной системы, разработку которой может вести эксперт в соответствующей предметной области без участия коллектива программистов. С этой целью разработку экспертной системы, названной «Выбор КМК», предлагается вести в среде GURU — оболочки экспертных систем продукционного типа [2]. Данный тип ЭС выбран в соответствии с её целевым назначением – учитывая текущие условия («если…»), предложить пользователю решение («…то»).

Ввиду того, что не имеется доступа к большим массивам оцифрованных данных об особенностях использования различных КМК, применение математико-статистических методов затруднено. При определении критериев, влияющих на выбор КМК при формировании программы продвижения, мы использовали методы инженерии знаний (анализ,синтез), позволяющие аккумулировать опыт таких экспертов в области продвижения товаров и услуг, как Фёдор Вирин, Дамир Халилов, Елена Носова, Сергей Сухов и других [3]. В ходе выполнения этапа идентификации и концептуализации экспертной системы «Выбор

КМК» было выявлено, что основное влияние на выбор оптимального сочетания каналов маркетинговых коммуникаций практически в любой области оказывают характеристики продукта и рынка, а так же рекламный бюджет. Под «рынком» здесь понимается отдельный целевой сегмент или целевая аудитория компании [5].

Среди характеристик рынка мы выделяем следующие: социально-демографические (численность, концентрированность [4], возраст и доход её представителей); поведенческие (степень вовлечённости и информированности о продукте); новизна рынка; тип потребителя (B2B/B2C). Среди влияющих на выбор КМК характеристик компании в результате исследования мы выделяем: цель кампании по продвижению (стимулирование сбыта или информирование целевых потребителей (формирование осведомленности/создание или укрепление имиджа продукта); величина бюджета кампании по продвижению (от 10 000 рублей); тип рекламируемого продукта (товар/ услуга); новизна товара для рынка (новый/существующий); предназначение промотируемого продукта к использованию в online или в offline пространстве.

Авторы [4], [5], [7], [8] отмечают, что существует значительное количество каналов маркетинговых коммуникаций (в базе знаний используется более 70). Они классифицированы по стоимости рекламной кампании (от 10 000 рублей), среде использования (online/offline), назначению (подходящие для сбытовой или информирующей рекламы).

Соответственно, возможно множество различных комбинаций характеристик рынка и вводных данных компании-рекламодателя, и при этом любые две комбинации, отличающиеся друг от друга хотя бы по значению одной из характеристик (например, возрасту представителей целевого сегмента или бюджету компании по продвижению), будут соответствовать двум отличным друг от друга комбинациям каналов маркетинговых коммуникаций.

Очевидно, что человеку, принимающему решение о выборе каналов маркетинговых коммуникаций, сложно проанализировать весь объем необходимой информации без помощи автоматизированной системы поддержки принятия решений. Приведём пример сопоставления элементов проектируемой системы, которая лежит в основе проектируемой ЭС. На рис. 1 приведён фрагмент верхнего уровня концептуальной модели разрабатываемой базы знаний.

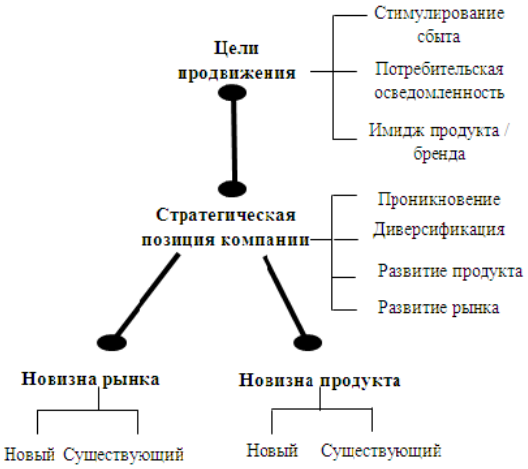


Рис. 1. Фрагмент концептуальной модели разрабатываемой базы знаний

Здесь понятие «цели продвижения» имеет диапазон значений: стимулирование сбыта, потребительская осведомленность, имидж продукта/бренда; понятие «стратегическая позиция компании» – проникновение, диверсификация, развитие продукта, развитие рынка, понятия «новизна рынка» и «новизна продукта» - новый и существующий. Переменные «новизна рынка» и «новизна продукта» являются запрашиваемыми, «стратегическая позиция компании» и «цели продвижения» – выводимыми.

Отметим, что на практике эксперт способен принимать решения в условиях неполной и нечеткой информации. Делая определенные выводы из имеющихся данных, он только с некоторой степенью уверенности рекомендует использовать те или иные каналы маркетинговых коммуникаций. Кроме того, предлагаемое решение может иметь несколько допустимых вариантов. Следовательно, правила, на которых основана база знаний, должны строиться на принципах нечёткой логики. Для представления нечётких знаний мы предлагаем использовать так называемые fuzzy-переменные, которые имеют не одно, а сразу множество значений, каждое из которых – со своим коэффициентом уверенности, который принимает значения из конечного множества от 0 (полное недоверие) до 100 (полное доверие) включительно. Оболочка экспертных систем GURU учитывает некоторое заданное пороговое значение для коэффициента уверенности (например, равное 30), ниже которого соответствующее значение переменной считается недостоверным.

К настоящему времени выполнен этап идентификации и концептуализации экспертной системы. Экспертная система «Выбор КМК» находится на стадии разработки демонстрационного прототипа. Она позволяет для определенной целевой аудитории и ситуации на рынке выдать рекомендацию по выбору оптимального сочетания нескольких каналов маркетинговых коммуникаций для решения конкретной задачи продвижения,

возможно, предложив сразу несколько вариантов, близких к оптимальному. Демонстрационный прототип успешно прошел апробацию при разработке интегрированных программ продвижения для следующих компаний в г. Перми: ООО «Пром-А Урал», ООО «Белый берег» и ООО СПК «Монолит».

Если компании необходимо выйти сразу на несколько целевых сегментов одновременно, то необходимо проконсультироваться с экспертной системой несколько раз, указав данные для каждого из сегментов. Получив экспертные рекомендации по каждому сегменту в отдельности, специалист-маркетолог может проанализировать полученные рекомендации, объяснение хода вывода экспертной системы и выбрать оптимальный вариант сразу для нескольких целевых сегментов. По мере практической эксплуатации разрабатываемой экспертной системы может быть накоплен достаточный опыт для включения в базу знаний экспертной системы новых правил, учитывающих необходимость продвижения товаров сразу для нескольких целевых сегментов.

Библиографический список

1. *David S. Frankel.* Model Driven Architecture. Applying MDA to Enterprise Computing // Wiley Publishing.Inc, 2003. – 352 p.
2. *Васенев* Ю.Б., *Бабанин* А.Г., *Бессонов* М.Б., *Блинов* М.Н. Экспертные системы в GURU// СПб.: СПбГУ, 1993. – 111 с.
3. Андросов Н., Ворошилова И., Долгов В., Замарацкая С., Манн И., Носова Е., Овчинников Р., Рыжиков С., Сухов С., Черницкая М. Интернет-маркетинг на 100% // Спб.: Питер, 2011. С. 225.
4. *Вирин Ф.Ю.* Интернет маркетинг. М.: Эксмо, 2010. С. 15 – 227 с.
5. *Капон Н., Колчанов В., Макхалберт Дж.* Управление маркетингом // Учебник для ВУЗов. Спб.: Питер, 1994. С.72-78.
6. *Ларичев О. И., Петровский А. Б.* Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития. // Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика. — Т.21. М.: ВИНИТИ, 1987, С. 131—164.
7. *Потапенко А.Ю.* Управление интегрированными маркетинговыми коммуникациями на рынке хлебобулочной продукции. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата наук. Кафедра маркетинга и стратегического развития ФГОУ ВПО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», 16.10.2010 г.
8. *Ядин Д.* Маркетинговые коммуникации: современная креативная реклама. М.: Фаир-пресс, 2003.

CREATING THE DECISION SUPPOT SYSTEM FOR OPTINAL SELECTION OF MARKETING COMMUNICATION CHANNELS

Igoshina Daria A.

Perm branch of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education "National Research University" Higher School of Economics ", st. Studencheskaya, 38, Perm, Russia, 614070, shitova.d@inbox.ru

The article describes the approach to the development of a decision support system on the choice of an optimal combination of the various online and offline channels of marketing communications. The feature of this system is in the automation of decision-making process and in construction of promotion program with considering characteristics of the market, consumer, product and the size of the advertising budget. The article describes the necessary information and software resources, there is an example of the results of design of knowledge, which is an integral part of the system being developed.

Key words: integrated marketing communications, promotion program, decision support system, expert system.

УДК 004.9

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ И МУНИЦИПАЛЬНЫХ УСЛУГ

Ковалев Степан Сергеевич

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Россия, г. Пермь, ул. Бульвар Гагарина, 37а, stepashka2014@gmail.com

В статье рассматривается проблема повышения эффективности предоставления государственных и муниципальных услуг в многофункциональных центрах России с использованием информационных технологий, предлагается описание регламента предоставления услуг МФЦ с точки зрения процессного подхода. Моделирование процесса предоставления услуги гражданам позволило выявить возможности его совершенствования, в частности, на стадии подачи документов, а также возможные риски. Кроме того, модели процессов позволяют формулировать процедуру, порядок и правила получения услуги в виде последовательности действий (алгоритмов), понятных для пользователей МФЦ. В качестве примера представлена рабочая модель процесса оказания государственной услуги по регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним. Построение модели осуществляется в соответствии с существующим утвержденным регламентом предоставления услуг в Пермском краевом многофункциональном центре.

Ключевые слова: бизнес-процессы, моделирование, услуги, многофункциональный центр, анализ, нотации.

Введение

Для повышения комфорта жизни населения в России в соответствии с государственной программой ФЗ-210 [1] активно развивается институт единых многофункциональных центров (далее – МФЦ), осуществляющих предоставление услуг населению по принципу «одного окна». Основная цель реализации данной программы состоит в экономии ресурса времени, затрачиваемого гражданами РФ на получение государственной услуги. В деятельности таких центров в настоящее время отмечаются проблемы [2], требующие совершенствования процессов предоставления услуг.

Ключевое место в повышении эффективности деятельности МФЦ согласно целевым программам [3] отведено внедрению автоматизированных информационных систем (АИС), обучению сотрудников, налаживанию взаимодействия между ведомствами, отвечающими за те или иные виды услуг. Порядок и правила получения государственных и муниципальных услуг в МФЦ представлены в утвержденных регламентах, но регламенты написаны на юридическом языке, достаточно большие по объему и в них сложно разглядеть ясный

© Ковалев С.С., 2016 г.

поэтапный порядок действий. Поэтому одной из важных задач совершенствования бизнес-процессов является описание регламента предоставления услуги МФЦ с точки зрения процессного подхода. В данной статье рассматривается проблема моделирования бизнес-процессов предоставления государственных и муниципальных услуг МФЦ.

Выбор нотации моделирования

На сегодняшний день существует множество нотаций представлений бизнес-процессов. Возникает проблема выбора нотации, позволяющей адекватно описать бизнес-процессы рассматриваемой предметной области. Такая задача поставлена в работе [4]. Авторами проанализированы унифицированный язык моделирования UML, IDEF0,IDEF3, DFD, EPC, BPMN и врезультате сравнения ими выделены следующие нотации:EPC, BPMN, UML.

Помимо возможностей UML как языка моделирования в работе [5] объясняются преимущества его использования. Основными особенностямиUML являются объектно-ориентированный подход и большой набор возможных диаграмм (деятельности, классов и так далее). В статье [6]рекомендуется рассматривать предприятия целиком, создать целостную модель предприятия, то есть, охватить проблему в целом, и сделать это в нотации семейства IDEF. Подобный анализ проведен также в работах [7], [8].

В данном исследовании выбор нотации описания бизнес-процессов МФЦ был проведен методом анализа иерархий Т.Л. Саати [9], для этого на основе сравнительного анализа языков описания бизнес-процессов в рассмотренных выше литературных источниках были отобраны критерии и альтернативы, представленные в табл. 1 и табл. 2 соответственно.

Таблица 1. Критерии

Номер	Условное обозначение	Наименование
1	к1	Легкость построение и обоснования
2	к2	Количество выразительных компонентов
3	к3	Возможность тестирования модели
4	к4	Возможность выполнения стоимостного анализа
5	к5	Наглядность модели
6	к6	Доступность программного обеспечения

Таблица 2. Альтернативы

Номер	Условное обозначение	Наименование
1	a1	IDEF (Integrated Computer-Aided Manufacturing)
2	a2	BPMN 2.0 (Business Process Model and Notation)
3	a3	UML (Unified Modelling Language)

4	a4	DFD (Data Flow Diagrams)
5	a5	EPC (Event-driven Process Chain)

Результаты, полученные методом анализа иерархий, представлены в результирующей табл. 3.

Таблица 3. Результирующая таблица

	к1	к2	к3	к4	к5	к6	Приоритет (%)
Вес	0,050	0,100	0,300	0,320	0,120	0,110	
a1	0,127	0,037	0,041	0,064	0,047	0,261	7,70%
a2	0,549	0,347	0,408	0,600	0,512	0,261	46,63%
a3	0,055	0,468	0,397	0,142	0,287	0,099	26,06%
a4	0,102	0,040	0,039	0,097	0,048	0,189	7,80%
a5	0,167	0,108	0,115	0,097	0,106	0,190	11,81%

Оценка согласованности построенных в ходе выполнения МАИ матриц парных сравнений не превышает 10%, что является показателем хорошо согласованной матрицы. По результатам проведенного анализа была выбрана нотация BPMN 2.0 (46,63%) для решения задачи построения моделей бизнес-процессов предоставления государственных и муниципальных услуг МФЦ.

Построение модели процесса предоставления государственной услуги в нотации BPMN 2.0

Получение услуг МФЦ состоит из следующих стадий: обращение, обработка и результат, в построенной модели также отражены три стадии с соответствующими ролями и процессами. Построение модели выполнено на примере регламента лидирующей по спросу услуге в Пермском краевом МФЦ – государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним.

Первая стадия заключается в приеме и регистрации документов заявителя. Модель первой стадии представлена на рис. 1.

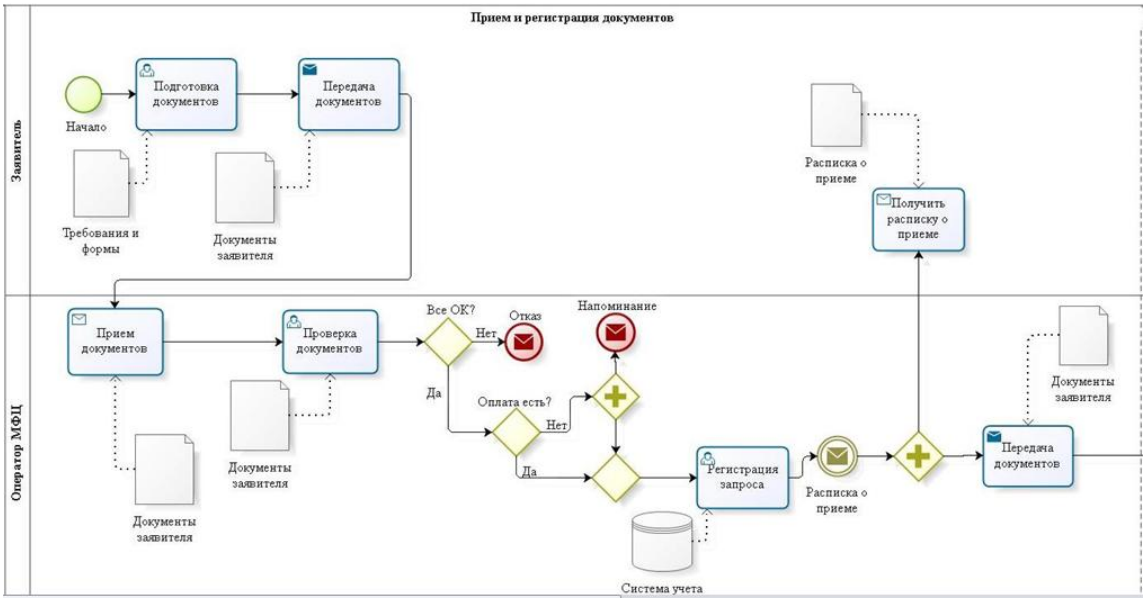


Рис. 1. Стадия «Обращение заявителя» моделируемого процесса

Вторая стадия заключается в проверке и экспертизе документов уполномоченными ведомствами. Модель второй стадии представлена на рис. 2.

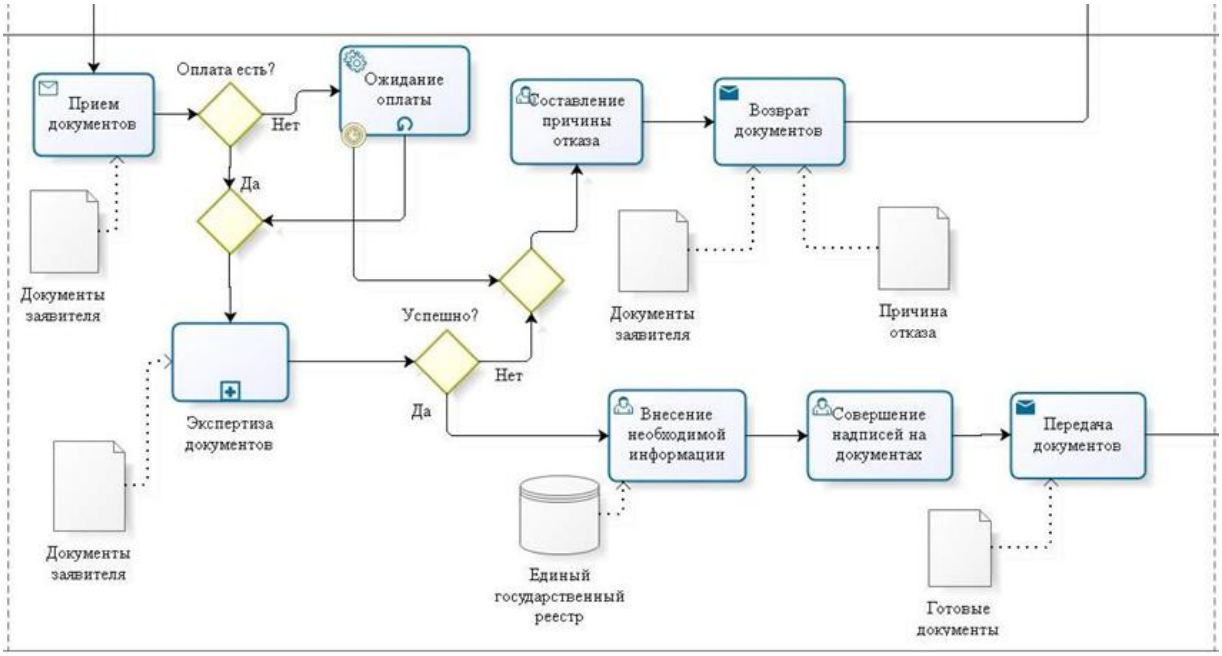


Рис. 2. Стадия «Обработка» моделируемого процесса

Третья стадия заключается в предоставлении результата посетителю. Модель третьей стадии представлена на рис. 3.

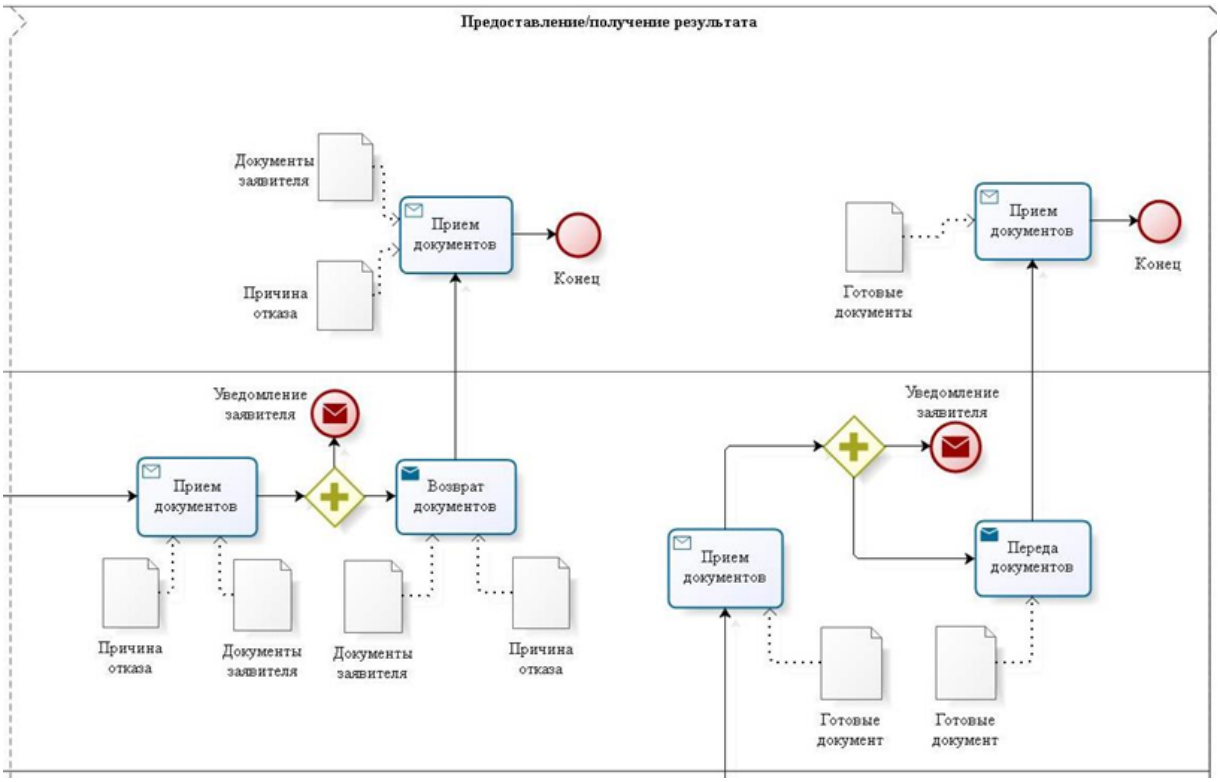


Рис. 3. Стадия «Результат» моделируемого процесса

Заключение

Описание регламентов в виде моделей делает процедуру, порядок и правила получения услуги более прозрачной для посетителя МФЦ, что позволит ему более качественно подготовить первичный пакет документов и избежать повторных правок и возвратов.

Кроме того, построенные модели в соответствии с регламентами предоставления услуг МФЦ дают возможность проводить стоимостной анализ относительно каждой услуги, определять точки риска для последующего устранения или минимизации, являясь эффективным инструментом совершенствования бизнес-процессов предоставления услуг населению.

Библиографический список

1. *Федеральный* закон от 27.07.2010 № 210-ФЗ (ред. от 15.02.2016) «Об организации представления государственных и муниципальных услуг».
2. *Пономарев С.В.* Проблемы внедрения информационно-коммуникационных технологий в систему государственного управления России: электронное правительство в отставку? // ArsAdministrandi. 2014. №1. С. 91-106.

3. *Постановление* правительства РФ от 15.04.2014 № 313 (ред. от 17.06.2015) «Об утверждении государственной программы Российской федерации «Информационное общество (2011 – 2020) годы».
4. *Аксенова О.П., Аксенов К.А., Антонов А.С., Смолий Е.Ф.* Анализ графических нотаций для имитационного моделирования бизнес-процессов предприятия // Технические науки. 2013. №4. С.8.
5. *Мекшенева Ж.В.* Проектирование модуля информационной системы с использованием языка UML// Материалы международной научно-практической конференции. 2014. С. 170-173.
6. *Переверзев П.П., Каточков В.М., Каточков Е.В.* Проблемы функционального моделирования деятельности предприятий в сфере услуг // Вестник Южного-Уральского государственного университета. 2011. №41. С. 124-127.
7. *Зимовец О.А., Маторин С.И.* Представление диаграмм в нотациях DFD,IDEF0 и BPMNc помощью системно-объектных моделей «узел – функция – объект» // Системный анализ и управление. 2011. №19(114). С. 127-137.
8. *Тасваева А.Н.* Диаграммы потоков данных и вариантов использования как инструменты проектирования информационных систем // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2012. №2(3). С. 143-146.
9. *Принятие* решений. Метод анализа иерархий: учеб. пособие / авт. и сост. Т. Саати; перевод Р.Г. Вачнадзе М.: Радио и связь, 1993.

MODELS DEVELOPMENT OF PROVIDING STATE AND MUNICIPAL SERVICES

Kovalyov Stepan S.

National Research University “Higher School of Economics”, Bulvar Gagarina St. 37a, Perm, Russia, stepashka2014@gmail.com

The paper says about the problem of increasing the efficiency of providing of state and municipal services by multifunctional centres in Russia using information technologies. It is proposed the description of the MFC regulation of providing services in terms of process approach. Modeling of the providing services process to citizens identifies opportunities to improve it, particulary at the stage of submission of documents and identifies potential risks. Besides, the process models allow to formulate the procedure, course and rules of obtaining services in the form of a procedure (algorithms), that are understandable to MFC clients. As an example, it is presented a working process model of the public service for the registration of real estate rights and transactions with it. The model development is made in accordance with current regulations approved by Perm MFC.

Keywords: business-processes, modelling, services, multifunctional center, analysis, notations.

УДК 330.43

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ФАЗОВЫХ ТРЕНДОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ОПЕРАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БАНКА

Перминова Наталья Сергеевна

ФБГОУ ВО, Вятский государственный университет, 610000, Россия,
г. Киров, ул. Московская, д. 36, ns.perminova@yandex.ru

Банковская система является важнейшей частью любой развитой современной экономики и играет существенную роль в ее функционировании. Основная часть банковских ресурсов, как известно, образуется в процессе проведения депозитных операций банка, от эффективной и правильной организацией которых зависит, в конечном счете, устойчивость функционирования любой кредитной организации. Данный факт свидетельствует о важности изучения и моделирования различных явлений, протекающих в банковской системе, и, в особенности, процесса формирования ресурсной базы. Данная цель достигается путём составления математических, экономических и эконометрических моделей, описывающих банковскую деятельность. В работе рассмотрен метод фазовых трендов, изложенный в статье «К вопросу о моделировании трендов временных рядов» кандидата технических наук, доцента кафедры математического моделирования в экономике ФБГОУ ВО Вятского государственного университетаЮ.Л. Кошкинаи докторафизико – математических наук, заведующего кафедрой математического моделирования в экономике ФБГОУ ВО Вятского государственного университетаА.В. Шатрова. Данный метод предполагает в некотором смысле независимость фаз и возможность построения независимого уравнения регрессии для каждой из них. Таким образом, появляется возможность рассмотреть, как изменяется объём депозитов и вкладов физических лиц в коммерческий банк в каждый отдельный месяц, проследить динамику и выявить зависимость между фазами. Однако, не смотря на то, что, по мнению авторов, качество моделей по методу фазовых трендовчасто не уступает более сложным расчётным методам, его не рекомендуется использовать для составления моделей, в которых фигурируют данные, полученные в период кризисных явлений в экономике.

Ключевые слова: метод фазовых трендов, ресурсная база банка, моделирование, прогнозирование.

Применение метода фазовых трендов для анализа временных рядов

Имеются данные по объёму депозитов и вкладов физических лиц, привлеченных ОАО «Сбербанк России» в Кировской области. В нашем случае обучающая часть выборки включает в себя показатели за 2009 – 2013 гг., контролирующая часть – 2014 год.

Метод фазовых трендов не предполагает выделение в явном виде циклической компоненты, но может быть применён лишь при её наличии. Предполагается, что ВР содержит несколько (k_c) циклов (периодов), а в каждом цикле имеется несколько (k_s) равноотстоящих наблюдений ($k_c = 12$, $k_s = 5$). Каждое наблюдение внутри цикла имеет

© Перминова Н.С., 2016 г .

номер t от 1 до k_s. Каждое значение t отражает фазу внутри цикла. Одинаковые фазы разных циклов предполагаются коррелированными, причём для каждой фазы может быть найдено своё уравнение регрессии. [1, с. 37; 2]

Найдем уравнение регрессии для каждой фазы на обучающей части выборки, возьмем во всех случаях линейный тренд $T_i = a_i + b_i \cdot t$. Коэффициенты a и b рассчитаем с помощью функции пакета MS Excel ЛИНЕЙН. Далее сделаем прогноз на 2014 год, сравнив, исходные данные с прогнозными значениями.

На рис. 1 приведены траектории временного ряда по объёмам депозитов и вкладов в Кировское отделение ОАО «Сбербанк России» и расчёт по МФТ.

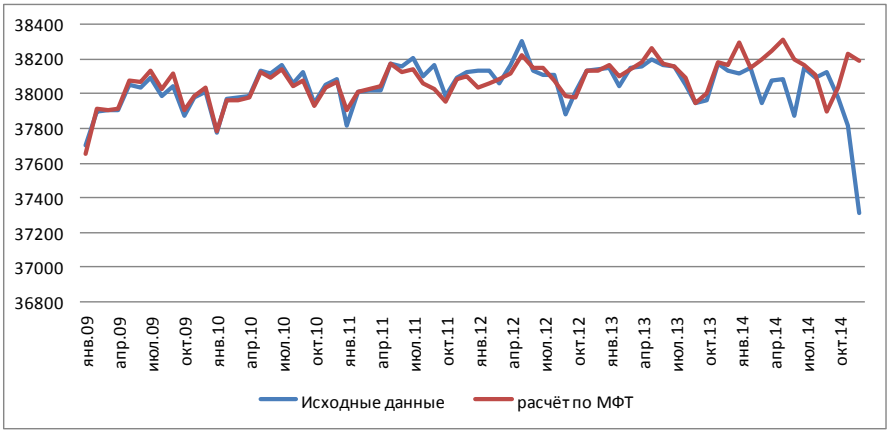


Рис. 1. Траектории временных рядов объёма депозитов и вкладов в Кировское отделение ОАО «Сбербанк России» за 2009 – 2014 гг.

Для того чтобы сделать вывод о чувствительности модели к кризисным ситуациям и точности прогнозных значений, необходимо выполнить оценку качества моделей.[3, с. 36]

Рассчитаем MAPE – оценку и коэффициент Тейла по формулам 1 и 2 соответственно.

$$MAPE = \frac{1}{l}\sum_{k=n+l}^{n+l}\left|\frac{(y_k - \hat{y}_k)^2}{y_k}\right| \cdot 100\% \qquad (1)$$

$$K_T = \sqrt{\frac{\sum_{k=n+l}^{n+l}(\hat{y}_k - y_k)^2}{\sum_{k=n+l}^{n+l} y_k^2 + \sum_{k=n+l}^{n+l}(y_k^*)^2}} \qquad (2)$$

где, $\hat{y}$ – значения аналитической модели ряда динамики, y^* – реальные значения выборки, l – объём контролирующей части выборки, n – объём обучающей части выборки.

Для полученной моделиMAPE – оценка составила 1.024%, что подтверждает высокую точность моделирования и прогнозирования.

Чем ближе к нулю значение коэффициента несоответствия Тейла, тем меньше относительная ошибка прогноза[3, с. 36].При расчётах было получено значение 0.0026, это говорит о том, что наш прогноз близок к «совершенному прогнозу».

Средняя ошибка аппроксимации по данной модели составила 0,11 %, таким образом, модель удовлетворяет требованиям точности.

В экономических приложениях модель считается адекватной, если значение коэффициента детерминации R^2 не меньше 0.7[4, с. 118-120], в нашем случае данный показатель составил 0,86.

Сделаем прогноз по объему депозитов и вкладов физических лиц, привлеченных ОАО «Сбербанк России» в Кировской области на 2015 – 2016 гг. (рис. 2) Прогноз, ориентированный на более длительный период, может дать впоследствии значительные расхождения с реальными данными.

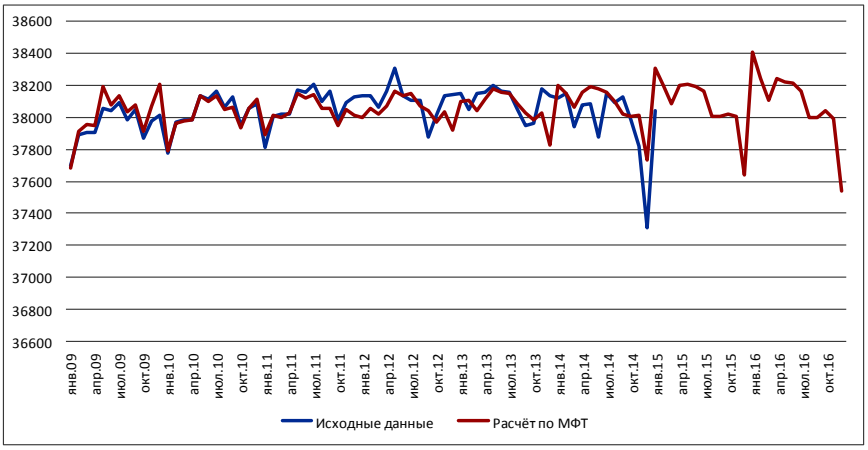


Рис. 2. Траектории временных рядов объёма депозитов и вкладов в Кировское отделение ОАО «Сбербанк России» за 2009 – 2016 гг

Коэффициента детерминации R^2 для полученной модели составил $0.47 < 0.7$, т.е. модель не удовлетворяет условиям адекватности. Таким образом, прогноз на 2015 – 2016 г.г. можно считать не вполне точным. Это можно объяснить тем, что модель фазовых трендов не учитывает сложившуюся экономическую ситуацию, а именно – ухудшение экономической обстановки в России, вызванную валютным кризисом, начавшимся в середине 2014 года, который усугубил структурный кризис российской экономики.

Вывод:

Таким образом, основными достоинствами метода фазовых трендов при моделировании, можно считать простоту построения модели, а так же хорошие характеристики надёжности. Однако данный метод не учитывает влияние внешних экономических ситуаций, таких, как мировые финансовые кризисы, ввод санкций в отношении отделного экономического субъекта или страны в целом, варьирование цен на нефть и др.

Библиографический список

1. *Кошкин Ю.Л., Шатров А.В.* К вопросу о моделировании трендов временных рядов // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика». 2015 Вып. 3(26). С. 37 – 40.
2. *Кошкин Ю.Л.,* Метод фазовых трендов // Кошкин Ю.Л., Сошникова Е.М.; ВятГУ, ФЭМ, каф. ММЭ // Общество, наука, инновации. НПК – 2013: всерос. ежегод. научно – практич. конференция: 15 – 26 апреля 2013 г. // ВятГУ. – Киров, 2013.
3. *Семёнычев В.К., Семёнычев Е.В.* Параметрическая идентификация рядов динамики: структуры, модели, эволюция // Самара: Изд-во «СамНЦ РАН», 2011. 364 с.
4. *Елисеева И.И.* Эконометрика: Учеб. Пособие // Елисеева И.И., Курышева С.В., Костеева Т.В. Под ред. ЕлисеевойИ.И. // - М.: Финансыистатистика, 2007. 567 с.

APPLICATION OF PHASE TRENDS IN MODELING OF OPERATIONS OF THE BANK

Perminova Natalia S.

Vyatka State University, Moskovskaya st. Av. 36, Kirov, Russia, 610000, ns.perminova@yandex.ru

The banking system is a crucial part of any development of the economy and plays an essential role in its functioning. The main part of bank resources, as is known, is formed in the course of deposit operations of the bank, the effective and proper organization of which depends, ultimately, sustainability functioning of any credit institution. This fact shows the importance of studying and modeling of various phenomena occurring in the banking system, and in particular, the process of formation of the resource base. This goal is achieved by compiling mathematical, economic and econometric models describing banking. The paper presents a method of phase trends outlined in the article "On the questionof modelling time series trends" Koshkina Yu.L., Shatrova A.V. This method involves, in a sense independent phases and the possibility of building an independent regression equation for each of them, so it is possible to see how the amount of deposits and deposits of individuals in commercial bank in every single month, to track the dynamics and identify the relationship between the phases. However, despite the fact that, according to the authors, the quality of the models by the method of phase trend of the no inferior to more complex calculation method, it is not recommended to use for drawing models, which involve data obtained during the crisis in the economy .

Key words: method of phase trends, the resource base of the bank, modeling, forecasting.

УДК 004.05

АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ ERP СИСТЕМ ДЛЯ МАЛОГО БИЗНЕСА

Плешкова Ирина Олеговна, Кушев Вадим Олегович

Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, 614070, г. Пермь, ул. Студенческая, д. 38, teddy19@yandex.ru

Аннотация: Получение выгоды от внедрения ERP-системы возможно при правильном выборе системы. Под выгодами часто понимаются повышение доступности информации при использовании ERP-системы, улучшение взаимодействия между функциональными звеньями предприятия, снижение трудовых затрат и времени на проводимую операцию. Предметом исследования, изложенного в статье,являются характеристики ERP-систем, которые адаптированы для российских предприятийв секторе малого бизнеса. В статье проанализированы основные характеристики ERP-систем, которые внедряются на российских предприятиях в секторе малого бизнеса. Для сопоставления основных характеристик систем выявлены и перечислены критерии и создана таблица сравнений. Полученные и представленные данные имеют практическую значимость при принятии решения о внедрении ERP-системы и при ее выборе для предприятия, относящегося к категории малый бизнес. Предполагается, что сопоставление качеств ERP-систем согласно заявленным критерием позволит менеджменту предприятия, относящегося к категории малый бизнес, принять верное решение о выборе корпоративной информационной системы с учетом соотношения цена/возможности системы.

Ключевые слова: ERP-системы, малый бизнес, внедрение, бизнес-процессы, автоматизация.

ERP-системы, созданные для малого бизнеса и адаптированные под российское законодательство, имеют свою специфику. Задача выбора ERP-системы для предприятия является многокритериальной и, следовательно, нетривиальной. Актуальность проводимого исследования заключается в нахождении метода анализа систем, который позволит выбирать оптимальную ERP-систему для предприятия в секторе малый бизнес.

Целью проводимого анализа является выявление преимуществ и недостатков ERP-систем для малого бизнеса в сопоставлении с основными конкурентами. В качестве основных конкурентов среди ERP-систем для малого бизнеса (далее по тексту МБ) рассматриваются системы: «1С:Предприятие», «SAP Business One», «Microsoft Dinamics Nav», «Oracle JD Edwards EnterpriseOne», «ГАЛАКТИКА-Старт».

Рост числа проектов внедрения и необходимость внедрения ERP-систем на малых и средних предприятиях рассмотрены висследованиях о тенденции применении малых ERP систем 2003-2006 годах [3], о тенденции рынка малых ERP-систем 2003-2001 годах [2], о востребованности ERP-систем в 2015 году [1]. Отметим, что в условиях финансово-

© Плешкова И.О., Кушев В.О., 2016 г.

экономического кризиса с 2014 года наблюдается спад спроса на ERP-системы в секторе МБ, объясняющийся ориентированностью предприятий на краткосрочную выгоду, но, в целом, рост рынка ERP-систем для МБ составляет 5-7%. В проводимом исследовании описано большее количество систем, данные актуализированы на 2016 год.

Предпосылкой к внедрению ERP-системы является состояние предприятия, когда бизнес-процессы сформированы, устойчивы, но сохраняют свойство адаптивности. Также будем считать, что сформировавшиеся бизнес-процессы фирмы входят в рамки регламентов ERP-системы, т.к. высокая степень автоматизации достигается за счет структурирования информации, регламентирования бизнес-процессов, прогнозирования вектора развития предприятия. Существует некоторая гипотетическая граница размера предприятия, когда гибкость бизнес-процессов становится менее ценной, чем эффект от внедрения ERP-системы. Задача менеджмента предприятия – определить порог, при котором внедрение ERP-системы будет целесообразным. Для того чтобы сохранить гибкость бизнес-процессов, внедрение ERP-системы происходит поэтапно, начиная с самых устоявшихся и регламентированных процессов, например, бухгалтерия и кадры. Далее автоматизируются процессы по степени убывания их регламентированности и формализованности.

Перечислим наиболее распространенные ERP-системы, ориентированные для МБ, которые имеют русскоязычную интерпретацию и адаптацию к российскому законодательству:

- «1С:Предприятие» (разработчик ЗАО «1С»);
- «SAP Business One» (разработчик SAP AG);
- «Microsoft Dinamics Nav» (разработчик Microsoft);
- «Oracle JD Edwards EnterpriseOne» (разработчик Oracle Corporation) ;
- «ГАЛАКТИКА-Старт» (ЗАО «Галактика Центр»).

Проанализируем ERP-системы для МБ с помощью метода анализа – таблицы сравнений систем, составленной по перечисленным ниже критериям.

Критерии для сравнения ERP-систем должны быть однозначны, охватывать разные стороны деятельности предприятия, учитывать вектор развития предприятия, подразумевать бинарный или числовой признак. Выделим и рассмотрим следующие критерии для сравнения ERP-систем:функциональность;использование облачных технологий;стоимость проекта внедрения;стоимость консалтинга;срок возврата инвестиций;адаптация под российские предприятия; интегрируемость; наличие CRM; дружелюбность интерфейса; масштабируемость; устойчивость поставщика системы на рынке ИТ.

Данные в таблице 1 приведены, исходя из мнений пользователей и проектных групп внедрения[6], данные по стоимости собраны с официальных веб сайтов разработчиков[5], статистических данных, полученных из практики внедрения ERP-систем [4].

Таблица 1. Сравнительный анализ ERP систем

№	ERP-система / Критерий сравнения	1С: Предприятие	SAPBusinessOne	Microsoft Dinamics Nav (start pack)	Oracle JDEdwardsEnterpriseOne	Галактика-Старт
1	Стоимость внедрения на 10 лицензий (тыс. руб.)	180	290	400	310	70
2	Продолжительность базового внедрения (дней)	4	8	15	12	8
3	Стоимость консалтинга (тыс. руб. за 1 чел/час)	2	2	2,2	2,4	1,5
4	Использование облачных технологий (да/нет)	Да	Да	Да	Да	Нет
5	Наличие специализированных отраслевых решений (да/нет)	Да	Да	Нет	Да	Нет
6	Срок возврата инвестиций (год)	1-3	1-2	1-3	От 3	От 2
7	Адаптация под российские предприятия (да/нет)	Да	Да	Да	Да	Да
8	Интегрируемость со сторонними приложениями (да/нет)	Да	Да	Да	Да	Да
9	Дружелюбность интерфейса (в баллах от 1 до 10)	10	10	10	7	6
10	Масштабируемость (да/нет)	Нет	Да	Да	Да	Да
11	Устойчивость поставщика системы на рынке ИТ (в баллах от 1 до 10)	10	10	10	10	8
12	Функциональность:					
12.1	✓ Финансы и бухгалтерский учет	Да	Да	Да	Да	Да (за исключением модуля зарплаты)

12.2	✓ CRM	Да	Да	Да	Да	Нет
12.3	✓ Продажи	Да	Да	Да	Да	Да
12.4	✓ Управление складами	Да	Да	Да	Нет	Да
12.5	✓ Управление производством	Да	Да	Нет	Да	Нет
12.6	✓ Закупки	Да	Да	Да	Да	Да
12.7	✓ Планирование потребности в материалах	Да	Да	Нет	Да	Нет
12.8	✓ Сервис (сервисное обслуживание)	Да	Да	Нет	Да	Нет
12.9	✓ Отчетность и аналитика	Да	Да	Да	Да	Да
12.10	✓ Мобильное решение	Да	Да	Да	Да	Нет

Из таблицы видно, что наибольшую функциональность включают в себя системы «1С: Предприятие» и «SAP Business One», но наименьшей стоимостью внедрения и сопровождения обладает система «Галактика-Старт».

На основе таблицы возможен расчет индивидуального интегрального показателя, отражающего суммарное преимущество в использовании какой-либо ERP-системы. Для расчета показателя менеджменту предприятия необходимо определить веса критериев в соответствии со шкалой от 0 до 100%. Таким образом, описываемый интегральный показатель рассчитывается на основе экспертных оценок. Наименее значимый показатель соответствует наименьшему проценту, наиболее значимый – наибольшему проценту. Приведенная таблица поможет найти необходимый баланс между стоимостью информационной системы и необходимой функциональностью, включенной в систему. Например, при отсутствии возможности у предприятия осуществлять доработки в ERP-системе для приведения в соответствие с отраслевыми стандартами, рекомендуется использовать готовые отраслевые решения, предлагаемые «1С: Предприятие», «SAPBusinessOne» и «OracleJDEdwardsEnterpriseOne».

Сопоставление качеств ERP-систем согласно заявленным критерием позволит менеджменту предприятия, относящегося к категории МБ, принять верное решение о выборе корпоративной информационной системы, с учетом соотношения цена/возможности системы.

Библиографический список

1. *Немытый Ю.* Мелкий и мягкий// Эксперт Урал №21 (284) 04 июня 2007.
2. *Ушаков К.* Рынок ERP: к чему приведет кризис?// Журнал "CIO", №7-8, июль-август 2009.

3. *Кидяев А.*ERP: необходимость или роскошь?// Статьи / специализированный журнал и сайт о предпринимательстве «Свой Бизнес». [Электронный ресурс]URL: http://www.mybiz.ru/articles/it/erp-neobxodimost-ili-roskosh/ (дата обращения: 01.04.16).
4. *Михайлов. А*. Программная основа эффективного бизнеса. ERP — для малого и среднего бизнеса// Портал Газета.ru[Электронный ресурс]URL: http://www.gazeta.ru/price_of_time/2012/04/26/4564569.shtml (дата обращения: 01.04.16).
5. *Панова О. В.* Сравнительный анализ решений бизнес-аналитики SAP для малого, среднего и крупного бизнеса.// Портал SCI-Article [Электронный ресурс]URL: http://sci-article.ru/stat.php?i=1449472170 (дата обращения: 01.04.16).
6. Сравнение ERP – обзор преимуществ и недостатков SAP Business One, Microsoft Dynamics NAV и 1C ERP 2.0// Портал Mincore: Business opportunities [Электронный ресурс]URL: http://mindcore.ru/digest/sravnenie-erp-obzor-preimushhestv-i-nedostatkov.html (дата обращения: 01.04.16).

THEANALYSIS OF THE APPLICABILITY ERP SYSTEMS FOR SMALL BUSINESS

Pleshkova Irina O., Kushev Vadim O.

National Research University The Higher School of Economics, st. Studencheskaya,38, Perm,Russia, 614070, teddy19@yandex.ru

Abstract: Getting benefits from the introduction of the ERPsystem is possible with the right choice of system. Under the benefits often refers to increasing the availability of information while using the ERP system, improving the interaction between the functional units of the enterprise, reducing labor costs and time for operation. The subject of the study outlined in the article is the characteristics of ERP systems, which are adapted for Russian companies in the small business sector. The article analyzes the main characteristics of ERPsystems, which are implemented at the Russian enterprises in the small business sector. For comparison the main system characteristic were identified and listed the criteria and wasset up a table of comparisons. The resulting and presented data has practical importance when deciding on the implementation of the ERPsystem, and when it is selected for the enterprise belonging to the category of small businesses. It is assumed that a comparison of the qualities of ERP systems in accordance with the stated criteria will allow the enterprise management, belonging to the category of small business, make the right decision about choosing a corporate information system, taking into account cost/capabilities of the system.

Key words: ERP systems, small business, implementation, business processes, automation.

УДК 51.7

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСА МИТОВАРА НА ПРЕДПРИЯТИИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЕГО СТОИМОСТИ

Решетникова Елизавета Алексеевна

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, Lizica1995@mail.ru

В настоящей работе предложена математическая модель управления запасами товара на предприятии, основанная на модели управления запасами с фиксированным размером заказа. Исследованная модель позволяет принимать решение о пополнении запаса с учетом изменения стоимости, по которой приобретается товар. Если есть возможность купить товар по сниженной стоимости, то в модели пересчитывается размер порогового уровня запаса товара с учетом покупательной возможности предприятия, размера скидки и способности склада разместить товар. Кроме того, при принятии решения о заказе товара учитываются сроки поставки товара на склад. Предложенная модель позволяет предприятию оптимизировать расходы на приобретение и хранение товара, рассчитать объём средств, сэкономленных вследствие приобретения товара по сниженной цене.

Ключевые слова: математическая модель, управление запасами.

Важным фактором для обеспечения эффективной работы практически любого предприятия является управление запасами, будь то запасы какого-либо сырья для производства или же обычных канцелярских товаров для бухгалтерии. Отсутствие необходимых запасов приостанавливает работу части, а то и целого предприятия. Процесс управления запасами достаточно сложный и нуждается в подробном изучении. Для исследования данного процесса обычно прибегают к методам математического моделирования, так как, использование таких методов принятия решения, как мнение управленца или использование опыта работы часто приводит к неоправданным затратам. Общими методами математического моделирования управления запасами принято считать моделирование с фиксированным размером заказа и с фиксированным периодом времени между заказами [1-4]. На основе общих подходов, исследователями предложено множество моделей оптимального управления запасами, учитывающие различные дополнительные факторы, такие как неопределенность времени поставки, неопределенность спроса и многие другие.

Существует два главных вопроса, ответив на которые, можно построить эффективную модель управления запасами. Какой объём заказа сможет удовлетворить потребность в данном виде запасов? В какой момент времени следует сделать заказ для восполнения

© Решетникова Е.А., 2016 г.

данного вида запасов? В настоящей работе предложена математическая модель оптимального управления запасами товара, в которой принимается решение о пополнении запасов товара с учетом поставленных в начале данного абзаца проблем.

Модель оптимального управления запасами товара на предприятии с учетом изменения его стоимости, предложенная автором настоящей работы, основана на модели с фиксированным размером заказа (two-bin system), которая подробно описана в работе [2, с. 328 - 340]. В модели фиксируется оптимальный размер заказа или близкий к оптимальному размеру. Основной принцип модели заключается в том, что заказ (оптимального размера) на пополнение запаса делается, когда количество запаса близко к пороговому уровню. Значимым показателем в данной модели является максимальный желаемый запас

$$МЖЗ = Z_s + Q^*,$$

Где Z_s– страховой запас, единиц;

Q^*–оптимальный размер заказа.

Страховой запас определяется формулой

$$Z_s = П_Д \cdot t_{зп},$$

Где $П_д$ – ожидаемое дневное потребление, единиц;

$t_{зп}$ – время задержки поставки, дни.

Пороговый уровень запаса представлен в виде суммы

$$ПУ = Z_s + ОП,$$

Где $ОП$ – ожидаемое потребление за время выполнения заказа.

Ожидаемое потребление за время выполнения заказа имеет вид

$$ОП = П_Д \cdot t_П,$$

Где $t_п$ – время выполнения заказа, дни.

Кроме основных параметров базовой модели (объем потребности в запасе, оптимальный размер заказа, время выполнения заказа, возможная задержка поставки) автор настоящей работы предлагает учитывать такие параметры как вместимость склада (V), количество запаса на складе (S), размер скидки (A), оптимальный размер скидки (AO), цена за единицу (C), затраты на хранение единицы запаса в день (M). Если рассматривать идеальную ситуацию – заказы приходят в установленные сроки (без задержек), то формула для определения количества товара на складе, на момент поставки заказа сделанного с учётом скидки (S') примет следующий вид

$$S' = S - \left(t_П - \frac{ПУ - S}{П_Д} \right) П_Д + Q^* - \left(\frac{ПУ - S}{П_Д} \right) П_Д .$$

Раскрыв скобки и приведя подобные слагаемые, получаем

$$S' = S - t_{П} П_{Д} + Q^{*}.$$

Предложенная модель учитывает наличие места на складе, достаточного для хранения оптимального размера заказа к моменту его поставки и размер скидки, значение которой превышает значение размера оптимальной скидки. Если места на складе достаточно и размер скидки устраивает, то заказ производится в текущий день и размер порогового уровня запаса товара равна текущему значению запаса

$$ПУ = S.$$

Иначе пороговый уровень рассчитывается как в базовой модели управления запасами с фиксированным размером заказа[2].

На примере следующих значений входных параметров предложенной моделиA = 20%, OA = 14%, V = 1000, S = 300, $t_{П} = 3, Q^{*} = 500$, $П_{Д} = 100$, M = 1, C=15 – были получены следующие результаты моделирования (рис. 1). Кроме того, по данным входным параметрам для сравнения были воспроизведены результаты модели работы [2], которые изображены на рис. 2.

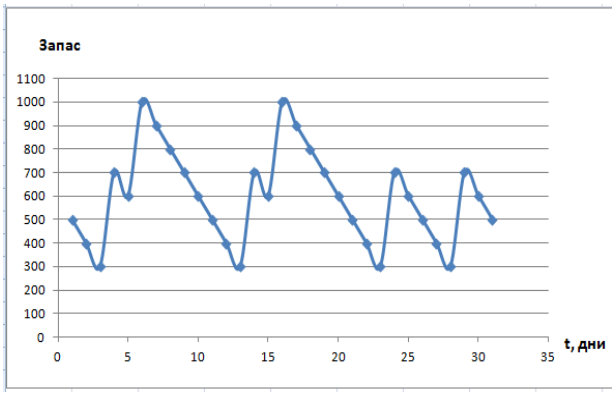


Рис. 1. Зависимость запаса товара на складе с учетом его стоимости

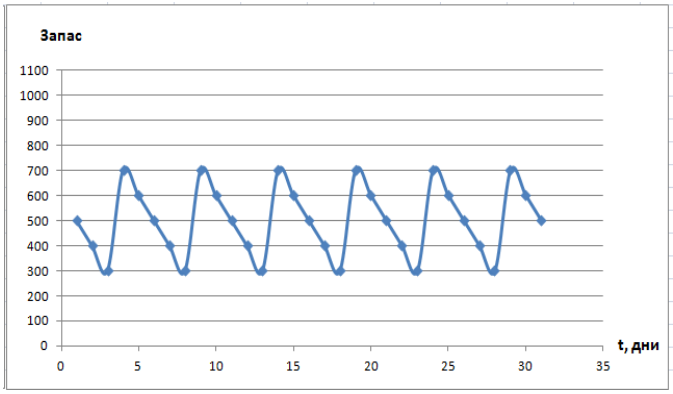


Рис. 2. Зависимость запаса товара на складе без учета его стоимости

Были посчитаны затраты за месяц на хранение и оплату товара в условиях покупки со скидкой составили 59000 руб. и в условиях покупки без скидки 60500 руб. Таким образом, предложенная в настоящей работе модель позволяет принимать решение о заказе товара с учетом снижения его стоимости, что дает предприятию возможность более эффективно использовать свои денежные ресурсы.

Библиографический список

1. Управление производством [Электронный ресурс] URL: http://www.up-pro.ru/encyclopedia/upravlenie-zapasami.html (дата обращения: 05.02.2016).
2. *Стерлигова А.Н.* Управление запасами в цепях поставок. М.:ИНФРА-М, 2008.

3. Административно – управленческий портал. А.В. Зимовец Краткосрочная финансовая политика Конспект лекций. [Таганрог]: Издательство НОУ ВПО ТИУиЭ, 2010. URL: http://www.aup.ru/books/m209/4_3.htm (дата обращения: 19.01.2016).
4. *Антонян Л. В.* Методика выбора модели управления запасами // Методы менеджмента качества, 2014,N № 10.-С.38-45

THE MODELING OF THE OPTIMAL INVENTORY MANAGEMENT OF GOODS TO THE REFLECT CHANGES OF ITS COST AT THE COMPANY

Reshetnikova Elizaveta A.

Perm State University, st. Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990, Lizica1995@mail.ru

The mathematical model of the inventory management of goods at the company, based on the model of inventory management of goods with the fixed size of the order is proposed in the present work. The model allows you to decide on replenishment taking into account changes of its cost. If is the opportunity to buy goods at a reduced cost,the size of the threshold level of the stock of goods isrecalculated taking into account the purchasing possibilities of the company and the ability of the warehouse to put the goods. The proposed model allows to optimise the cost of the acquisition and possession of the goods to the company.

Key words: the mathematical model, the inventory management

УДК 004.8+314.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА МЕГАПОЛИСА С ПОМОЩЬЮ МАТРИЧНОГО НЕЧЁТКОГО КЛЕТОЧНОГО АВТОМАТА

Селетков Илья Павлович, Марценюк Михаил Андреевич

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

В работе предложена численная модель для оценки развития мегаполиса и роста численности населения. В качестве основного методологического инструмента используются клеточный автомат, законы изменения состояний ячеек которого сформулированы в лингвистическом виде и численно реализуются с помощью аппарата нечёткой логики. Для проведения нечёткого логического вывода предложено использовать матричный аппарат, построенный в работах авторов. Произведено численное моделирование пространственно-временного развития мегаполиса. Показано, как с помощью матричного аппарата можно исследовать базу знаний, чтобы получить качественно новые результаты, в большей степени соответствующие действительности. В частности, показано, что матричный аппарат позволяет найти области полного отсутствия возможности логического вывода, а также исследовать качество покрытия правилами области определения задачи.

Ключевые слова: моделирование роста мегаполиса, нечёткая логика, клеточные автоматы, матричная реализация нечёткой логики.

В работе [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**] рассмотрена задача оценки развития мегаполиса. Показываются области и скорость развития города в зависимости от существующей инфраструктуры. Покажем на примере этой задачи применение матричного подхода для построения нечётких клеточных автоматов.

Для наглядности упростим постановку задачи. Территория, на которой развивается городразбивается на клетки с координатами i, j, для каждой из которых задана начальная относительная плотность населения $p_{i,j,0} \in [0,100]$ %. Кроме того, в виде набора отрезков указывается существующая дорожная инфраструктура, которая с течением времени не изменяется. Расстояние $s_{i,j}$ от конкретной точки i, j исследуемой области до ближайшей дороги может принимать значения на отрезке $s_{i,j} \in [0,300]$ условных единиц расстояния. Требуется рассчитать, как будет изменяться распределение плотности населения $p_{i,j,t}$ с течением времени.

Модель клеточного автомата подразумевает кроме описанного выше разбиения исследуемой области на клетки ещё и единый набор правил, с помощью которого

© Селетков И.П., Марценюк М.А., 2016 г.

вычисляется изменение значений в клетках. Подробное описание принципа работы нечёткого клеточного автомата приведено в работе [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], а матричного аппарата нечёткой логики в работе[**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Правила, по которым происходит развитие мегаполиса, формулируются экспертом по аналогии с тем, как это сделано в известной задаче о чаевых, рассмотренной в [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], т.е. имеют вид «Если средняя плотность населения $\overline{p_{i,j,t}}$ по окрестности Ni,j точки i,j в момент времени t «средняя», или расстояние $s_{i,j}$ от точки i,j до ближайшей дороги «низкое», то плотность населения $p_{i,j,t+\Delta t}$ в следующий момент времени $t+\Delta t$ будет «средней» с уверенностью $z=0.9$.

Введём обозначения всех лингвистических переменных и их термов, используемых в правилах: α – «Плотность населения» $\in \{\alpha_0$=«низкая», α_1 = «средняя», α_2 = «высокая»$\}$, β – «Расстояние до ближайшей дороги» $\in \{\beta_0$ = «малое», β_1 = «среднее», β_2 = «высокое»$\}$.

В новых обозначениях база знаний коротко записывается следующим образом:

$$\alpha^t_{0,i,j} \vee \beta_{0,i,j} \to \alpha^{t+\Delta t}_{0,i,j},\ z=0.9;\ \alpha^t_{1,i,j} \vee \beta_{1,i,j} \to \alpha^{t+\Delta t}_{1,i,j},\ z=0.9;$$
$$\alpha^t_{2,i,j} \vee \beta_{2,i,j} \to \alpha^{t+\Delta t}_{2,i,j},\ z=0.9. \qquad (1)$$

Зададим функции принадлежности всех нечётких множеств или функции истинности нечётких предикатов, описывающих лингвистические термы.

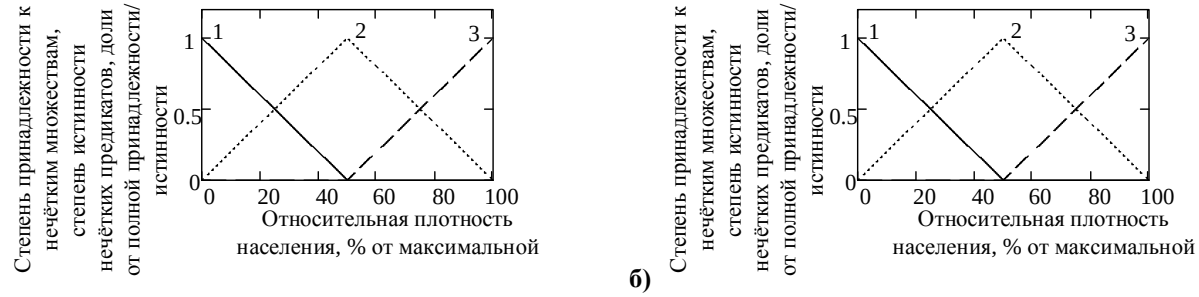
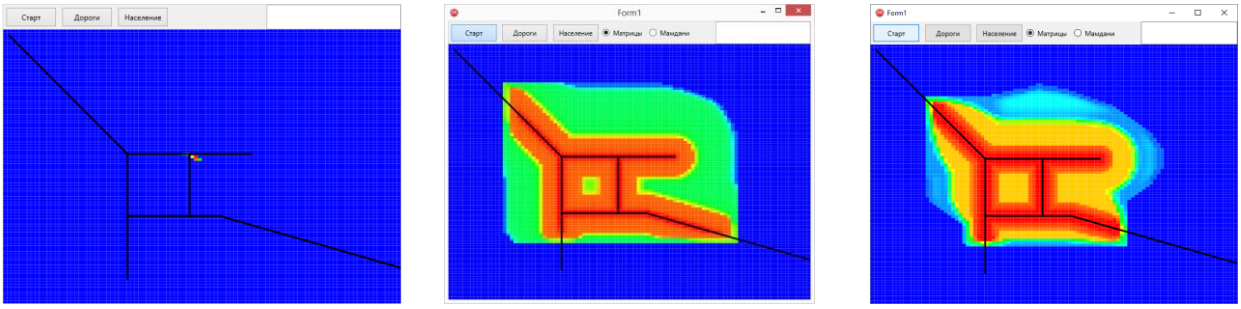


Рис. 5. Графики функций принадлежности/истинности для численной формализации правил в задаче о росте мегаполиса.

а) плотность населения
а.1. – «низкая»,
а.2. – «средняя»,
а.3. – «высокая»,

б) расстояние до ближайшей дороги
б.1. – «малое»,
б.2. – «среднее»,
б.3. – «высокое».

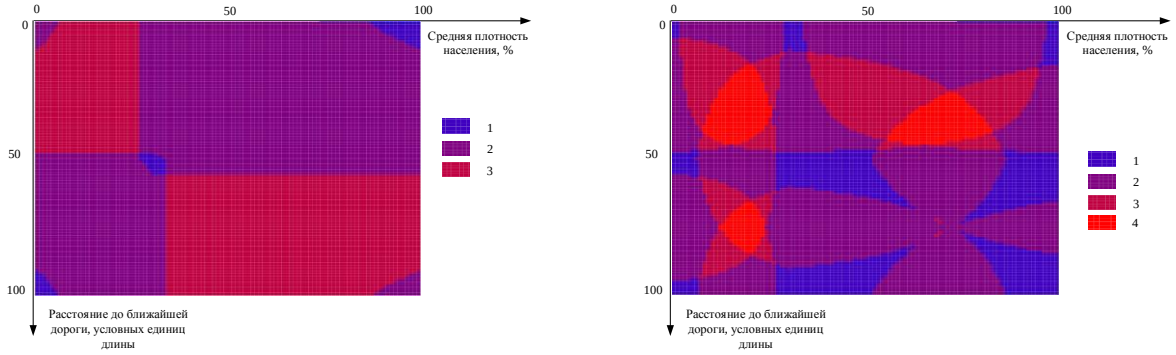
Начальное состояние – распределение плотности населения по исследуемой области имеет следующий вид, рис. 6.



а) **б)** **в)**

Рис. 6. а) Начальное распределение плотности населения в пределах исследуемой области. Распределение плотности населения в пределах исследуемой области, б) полученное по правилам (1), в) полученное по правилам (табл. 4).

Численный расчёт роста населения за 30 шагов по времени с использованием правил (1) приведён на рис. 6.б. Как видно из рисунка, рост города происходит по фигуре, почти совпадающей с прямоугольником, что не соответствует действительности. Проанализируем набор правил (1). Для этого с помощью матричного метода построим диаграмму количества работающих правил в зависимости от всех допустимых значений аргументов – плотности и расстояния, рис. 7.а.



а) **б)**

Рис. 7. Количество работающих правил а) из набора (1) и б) из табл. 4в зависимости от всех возможных значений аргументов.

Из рисунка видно, что правила охватывают всю область определения, но каждое правило охватывает большӳю часть области определения.Отсюда следует вывод, что сделана попытка обработать большой объём данных с помощью слишком малого количества знаний (правил). Эту ситуацию можно исправить, если сформулировать правила с помощью оператора «И» и дополнить базу знаний новыми правилами. Перечислим все правила в виде таблицы:

Табл. 4. Уточнённая база знаний задачи о росте мегаполиса

	α_0	z	α_1	z	α_2	z
β_0	α_1	*0.95*	α_2	*0.8*	α_2	*0.9*
β_1	α_0	*0.95*	α_1	*0.8*	α_2	*0.7*
β_2	α_0	*0.95*	α_1	*0.8*	α_1	*0.6*

Численный расчёт роста населения за 30 шагов по времени с использованием правил из табл. 4 приведён на рис. 6. в. Из рисунка видно, что после уточнения базы знаний модель развития города больше соответствует действительности. Карта покрытия правилами области определения решения задачи, полученную с помощью матричного метода по правилам табл. 4 приведена на рис. 7.б.

Применение матричного метода позволило проанализировать и дополнить базу знаний исходного решения задачи. В свою очередь, дополнение базы знаний позволило более детально описать область определения решения задачи и построить решение задачи, соответствующее действительности.

Библиографическийсписок

1. *Mantelas L., Prastacos P., Hatzichristos T., Koutsopoulos K.* Using fuzzy cellular automata to access and simulate urban growth. GeoJournal. Springer, 2012. Pp. 13-28.
2. *Марценюк М.А., Селетков И.П.* Нечеткий клеточный автомат для регулирования поля температуры. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. № 2-3 (212-217). С. 125-138.
3. *Марценюк М.А., Поляков В.Б., Селетков И.П.* Матричная реализация алгоритмов нечёткого вывода. // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. - 2012. - № 6 (162). - С. 133-141 : граф. - Библиогр.: с. 140-141 (10 назв.).
4. *Штовба С.Д.* Проектирование нечётких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком. 2007. – 288 с., ил.

MODELLING URBAR GROWTH USING MATRIX FUZZY CELLULAR AUTOMATA

Seletkov Ilya P.,Martsenyuk Mikhail A.

PermStateUniversity, st. Bukireva, 15, Perm,Russia, 614990, iseletkov@gmail.com

New mathematical model for simulation of urban evolution and population growth is proposed. Main framework used is fuzzy cellular automata. Description of all cells changes is defined in several laws in linguistic form. Numerical law application is done using fuzzy inherence algorithm. It is proposed to use matrix approach for fuzzy inherence algorithm that was introduced in previous author's works. Numerical modeling of spatial and temporal evolution of the metropolis have been done. It is shown how the using of the matrix approach can explore the knowledge base, and how to obtain qualitatively new results that are more relevant to reality. In particular, it is shown that the matrix approach allows you to find the area of a complete lack of logical deduction capabilities, as well as to explore the quality of regulations covering the domain of the problem.

Key words: Urban growth, Fuzzy logic, Cellular automata, Matrix fuzzy inherence algorithm.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЕКТ И ПРИКЛАДНАЯ ЛИНГВИСТИКА

УДК004.912

ITERATIVE MULTI-WORDCOLLOCATION EXTRACTIONMETHOD BASED ON MUTUAL INFORMATION

Ermakova Liana

Perm State National Research University,15 Bukirevast., 614990, Perm, Russia,
liana87@mail.ru

Collocation extraction is useful for information retrieval and information extraction for identification of multi-word notions. The main disadvantage of majority of the existing approaches that they are applicable for bigram extraction only. Therefore we propose a newiterative approach based on NPMI that is suitable for any number of collocation components. We applied our approach as a part of re-ranking algorithm based on the topic-comment structure on two datasets: WT10G and TREC Robust. The experiments showed our approach improves retrieval performance.

Key words: collocation, multiword term extraction, expression extraction, n-grams, mutual information, point-wise mutual information

Collocation extraction is useful for information retrieval and information extraction.

Yagunova and Pivovarova give the following definition of collocation [1]:

Collocation is the sequence of two or more words that co-occur not by chance in a language or in a text type.

They state that usually the term *collocation* is used in the multi-word term extraction task. Thus, collocations are viewed as lexical units just as words. Manning andSchützedistinguish the following types of collocations: light verbs (e.g. in the expressions like *make a decision*), verb participle constructions or phrasal verbs, proper nouns, and terminological expressions[2]. They point the two basic features of collocations: non-compositionality (i.e. a collocation meaning is not a straightforward sum of the meanings of it components) and non-substitutability (i.e. collocation parts cannot be substitute by their synonyms).

The common means of collocation extractions are based on t-test, z-score, χ^2-test, likelihood ratio, and relative frequency ration [2]. The **t-test** checks the null hypothesis that two words are independent. If the null hypothesis is true, the generation of bigrams follows the Bernoulli distribution. In this case, $\mu = p = v(x)v(y)$, $\sigma^2 = p(1-p) \approx p$ since p is small. $\bar{x} = v(x,y)$. The application of t-test $t = \frac{\bar{x}-\mu}{\sqrt{\frac{s^2}{N}}}$ allows rejecting the null hypothesis if t value is larger than the critical value at a specific significance level. The $\boldsymbol{\chi^2}$ **-test** is analogical. $\chi^2 = \sum_{i,j} \frac{(O_{i,j}-E_{i,j})^2}{E_{i,j}}$ where i

© ErmakovaLiana, 2016 г.

and $j$range over rows and columns of the table respectively, $O_{i,j}$ is theobserved value for cell $(i;\ j)$ and $E_{i,j}$ is the expected valuecomputed from the marginal probabilities. The **likelihood ratio test** is more suitable for collocation extraction than χ^2 .Let $H1: P(w_2|w_1) = p = \frac{c_2}{N} = P(w_2|\neg w_1)$, $H2: P(w_2|w_1) = p_1 = \frac{c_{12}}{c_1} \neq p_2 = \frac{c_2 - c_{12}}{N - c_1} = P(w_2|\neg w_1)$. Assuming a binomial distribution $L(H1) = b(c_{12};\ c_1;\ p)b(c_2 - c_{12};\ N - c_1;\ p)$, $L(H2) = b(c_{12};\ c_1;\ p_1)b(c_2 - c_{12};\ N - c_1;\ p_2)$. Then the log of the likelihood ratio is estimated as follows:$\log \lambda = \log \frac{L(H1)}{L(H2)}$. The multi-word expression extractionmay be also based on comparison of values of the**normalized point-wise mutual information** $npmi(x, y)$ [3]: $\boldsymbol{npmi(x, y) = \frac{pmi(x,y)}{-\log p(x,y)}}$**,** $\boldsymbol{pmi(x, y) = \log \frac{p(x,y)}{p(x)p(y)}}$**,** where $pmi(x, y)$ is the point-wise mutual information of the terms x and y, $p(x, y)$ is the joint probability of the terms x and y, $p(x)$ and $p(y)$ are the probabilities of the terms x and y respectively.

The main disadvantage of these approaches is that they are suitable for bigram extraction only. Therefore we propose the extension of the approach based on NPMI that is applicable for any number of collocation components. We incrementally extract the multi-word expressions by applying NPMI for the left and the right components of the collocation and by selecting the higher value. Candidates made of exclusively functional words are rejected as well as candidates containing punctuation marks. We also excluded the lower order expressions from the queryterm list if they are parts from a higher order expression. Forexample, a query q = *safety plastic surgery* is presented as$q = \{q_1; q_2\}$, where q_1 = *safety* and q_2 = *plastic surgery* andthe unigrams plastic and surgery are ignored.

We applied our approach as a part of re-ranking algorithm based on the topic-comment structure on two datasets: WT10G and TREC Robust. The experiments showed our approach improves retrieval performance.

References

1. *ЯгуноваЕ.В., ПивовароваЛ.М.* Природаколлокацийврусскомязыке. Опыт автоматического извлечения и классификации на материале новостных текстов // Сб. НТИ. М., 2010.
2. *Manning C.D., Schütze H.* Foundations of statistical natural language processing. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1999.
3. *Bouma G.* Normalized (pointwise) mutual information in collocation extraction // From Form to Meaning: Processing Texts Automatically, Proceedings of the Biennial GSCL Conference 2009. Tübingen, 2009. Vol. Normalized. P. 31–40.

УДК004.912+004.6+004.4'236

СИСТЕМА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОРПУСОВ ТЕКСТОВ

Бармина Елена Ивановна, Бушуев Роман Николаевич, Котельникова Надежда Владимировна, Ланин Вячеслав Владимирович, Плотникова Оксана Арсеновна

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 614070, Россия, г. Пермь, ул. Студенческая, 38, elenabarmina@ya.ru, bushuev.roman@gmail.com, nadya.kott@gmail.com, lanin@perm.ru, simple_oks@rambler.ru

Статья посвящена описанию разработки системы для обработки корпусов текстов, которая ориентирована на профессионалов в области корпусной лингвистики. В данной работе представлено описание разработки хранилища, компонентов прикладного уровня, веб-редактора для визуального языка лексико-семантических шаблонов и веб-компонента для визуализации результатов. Объектом исследования является текстовые корпуса, предметом – системы для работы с текстовыми корпусами. Целью исследования является разработка новой системы для работы с текстовыми корпусами. В данной статье также приведен анализ существующих решений, более подробно рассмотрены отрицательные и положительные их характеристики. В заключении статьи будут сформулированы выводы о проделанной работе и планы на будущее.

Ключевые слова: корпусная лингвистика, визуализация данных, DSL, облачные хранилища.

Введение

Ежегодно с появление современных технологий объем информации увеличивается. Данное явление также отразилось и на текстовых документах. Ли Джайлсем было проведено исследование, которое показало, что в интернете минимум 114 млн. научных документов на английском языке. Примерно 27 млн. из них хранятся в открытом доступе. Такое огромное количество данных содержит в себе новую полезную информацию, которою необходимо исследовать.

Корпусная лингвистика занимается тем, что создает текстовые корпуса, которые состоят из электронных документов определенной тематики или имеют общие свойства. На их базе лингвисты исследуют новые тексты, с целью выявления в них определенных паттернов и закономерностей.

Большинство известных систем (www.laurenceanthony.net/, wordsmith.org/) для работы с текстовыми корпусами предоставляют возможность хранения и аннотирования текстов, сохранения результатов в файл; поиск слов, словосочетаний, предложений по заданному шаблону. Однако данные системы имеют ряд существенных недостатков. Во-первых, от пользователя требуется владение специальнымязыком, на котором задаются правила

© Бармина Е. И., Бушуев Р. Н., Котельникова Н. В., Ланин В.В., Плотникова О. А., 2016 г.

получения результата. Во-вторых, результаты обработки файла в конечном итоге выводятся в текстовом виде, который не является репрезентативным для конечного пользователя.

В-третьих, загружаемый в систему файл должен включать в себя следующие обязательные характеристики: текст без форматирования, который необходимо обработать, аннотация, правила, по которым производилась аннотация текста.

На отечественном сегменте также присутствуют национальные системы (http://opencorpora.org/, http://www.ruscorpora.ru/), которые предназначены только для хранения и поиска необходимой информации в корпусе. Кроме того, они не позволяют пользователям загружать собственные корпусы. Главной задачей данных систем является создание национального корпуса русского языка, поэтому они не в полной мере удовлетворяют потребностям специалистов, у которых есть собственные корпусы для анализа и обработки.

Таким образом, согласно проведенному исследованию было принято решение создать новую систему, в которой будут устранены существующие проблемы. Данная система является достаточно сложной и для ее создания потребуется разработать:

1. Хранилище для сбора всей необходимой информации.
2. API для работы с этим хранилищем.
3. Компоненты прикладного уровня взаимодействия с существующими программными комплексами для аннотирования текста.
4. Веб-редактор для создания лексико-семантических шаблонов.
5. Веб-компонент для визуализации статических данных корпусной лингвистики.

Разработка хранилища

Одним из основных компонентов таких систем является хранилище текстов. Хранилища существующих систем отвечают требованиям масштабируемости, доступности и имеют пользовательский доступ, т.е. пользователь может добавлять тексты и текстовые корпусы, удалять текстовые корпусы и тексты и т.д. Однако эти хранилища не отвечают текущим требованиям.

Во-первых, хранилище должно быть адаптивным, т.е. должно уметь сохранять структуры, которые изначально не были предусмотрены. Во-вторых, хранилище должно иметь программный доступ, т.е. предоставлять возможность другим программистам обращаться к хранилищу через интерфейсы прикладного уровня.

Разработкой текстовых корпусов занимались множество исследователей Т. Маккенри, Б. Даилле, А. Хардие. Они разработали стандартные схемы для хранения текстовых корпусов

[1] [2]. Несмотря на то, что такие схемы являются устаревшими, их можно модернизировать, чтобы удовлетворить современным требованиям.

Разработкой структур для хранения динамических данных занимались исследователи С. Амер-Яхиа, М. Фернандез Л. Ресенде и Р. Фенг. В данных работахописываются структуры для хранения динамических данные в xml формате и ориентированном графе [3] [4][5].

В ходе исследования были выявлены требования к тому, что необходимо хранить в хранилище. Данная схема представлена в упрощенной форме (рис. 1).

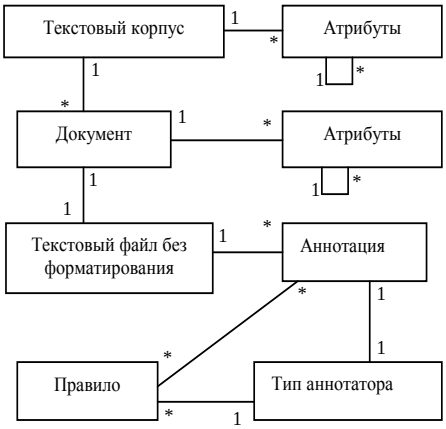


Рис. 8. Схема хранилища

Текстовый корпус должен хранить атрибуты, которые будут добавляться автоматически. Каждый из этих атрибутов может иметь свои собственные атрибуты. Каждый текстовый корпус имеет множество документов, которые в свою очередь характеризуются своими динамическими атрибутами. Каждый из этих атрибутов может иметь свои собственные атрибуты, например, атрибут автор может иметь дополнительные атрибуты, такие как дата рождения, смерти, пол и т.п.

В свою очередь документ имеет свой текстовый файл без форматирования, который будет использован для создания аннотации. Аннотацию можно создавать через разные инструменты (GATE, Clark, JTokeniser), каждый из этих инструментов имеет свои правила, поэтому для каждого из них одно и то же правило задается по-разному.

Для того, чтобы обеспечить доступ к хранилищу с удаленных устройств необходимо развернуть на облачной платформе. В качестве такой платформы для нашей системы было принято решение выбрать “Microsoft Azure”, так как он обладает гибким и удобным интерфейсом необходимый для разработки облачного хранилища.

Разработка компонентов прикладного уровня

Разработка прикладного уровня заключается в том, чтобы связать хранилище и различные аннотирующие инструменты вместе. Инструменты аннотации необходимы для

того, чтобы создавать разметку в тексте. По этой разметке можно будет идентифицировать тексты по различным параметрам. При разметке текстов, текстам приписывается дополнительная информация.

На сегодняшний день самым популярным инструментом для аннотаций текстов – это GATE. Он является системой для обработки естественного языка с открытым исходным кодом, использующая наборы компонентов на языке Java. Система решает такие задачи, как извлечение информации, ручная и автоматическая семантическая аннотация, работа с онтологиями, машинное обучение, анализ потока сообщений в блогах [6].

Существуют различные аннотирующие инструменты (GATE, Clark, JTokenize). Каждый из этих инструментов предоставляет определенный набор методов, который можно будет использовать при аннотировании текстов. Все эти инструменты можно связать одним интерфейсом “IAnnotator” (рис. 2).

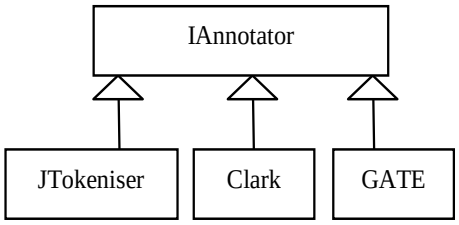


Рис. 9. Компоненты прикладного уровня

Разработка веб-редактор для создания лексико-семантических шаблонов

Для того чтобы начать анализировать текст, необходимо задать правила (шаблонные конструкции), по которым он будет аннотирован.С помощью Java Annotation Patterns Engine (JAPE)обработка текста происходит на основе регулярных выражений и позволяет разрабатывать лексико-семантические шаблоны, по которым ведется поиск.

При создании нового веб-редактораважно учитывать, что большая часть пользователей – это лингвисты, и специалисты, не связанные с компьютерными науками, поэтому разработка подобных шаблонов вызывает у них затруднения из-за сложности языка.

Данный веб-редактор необходим для создания лексико-семантических шаблонов в понятно для пользователя виде. Например, пользователь хочет найти все словосочетания, которые отвечают схеме: «Подлежащее + сказуемое» (рис. 3), система должна выделить все словосочетания, которые отвечают заданной схеме.

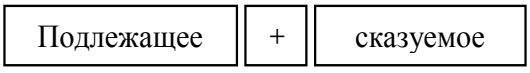


Рис. 10. Словосочетание

Разработка веб-компонента для визуализации статических данных

В большинстве случаев лингвист получает выходные результаты в текстовом документе, и ему необходимо её визуализировать для большей наглядности и для выявления интересных трендов и закономерностей, так как визуальная модель обладает большей когнитивной силой.

Веб-приложения (www.sketchengine.co.uk, cqpweb.lancs.ac.uk), которые существуют сегодня для работы с текстовыми корпусами, обладают сильным лингвистическим аппаратом, но представить в наглядном виде полученную информацию в ходе обработки текста не могут. Функционал большинства из них сложен для понимания. Поэтому лингвисту, который первый раз столкнулся с данным приложением, сложно понять итоговую картину. Статистические данные, полученные в ходе разбора текста сложны для интерпретации, что замедляет процесс анализа документа.

Поставленная задача решается с использованием методов математической статистики, комбинаторики, теории графов и множеств, а также технологии веб-программирования: высокоуровневый язык программирования – JavaScript, язык разметки – HTML5 и языка стилей – CSS3 [7].

Например, пользователь хочет найти соотношение односоставных предложений в тексте и для визуального представления полученных данных он использует диаграмму (рис.4)

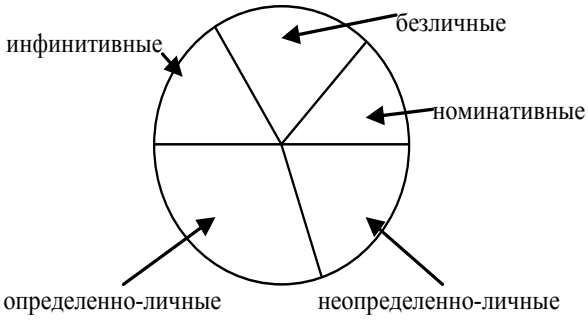


Рис. 11. Тип односоставных предложений

Заключение

В заключении данной статьи можно сказать, что описана последовательность шагов для разработки системы обработки корпусов. В данной системе большинство компонентов являются взаимозаменяемыми. Это делает ее более гибкой, тем самым позволяя модифицировать части системы независимо друг от друга.На данном этапе работы были спроектированы части системы, а также реализована работа хранилища. В дальнейшем планируется продолжить разработку системы и разработать оставшиеся части системы.

Библиографический список

1. *McEnery T. & Daille B.*,Database Design For Corpus Storage: The ET10-63 Data Model,UCREL Technical Papers, Lancaster, 1993.
2. *Stuart D., Aitken B. & Abbott D.*,Content Models for Enhancement and Sustainability: Creating a Generic Framework for Digital Resources in the Arts and Humanities in Metadata and Semantic Research, German: Springer Berlin Heidelberg, 2011.
3. *Amer-Yahia S., Fernandez M., Greer R., and Srivastava D.,* "Logical and Physical Support for Heterogeneous Data," in Eleventh Int. ACM Conference on Information and Knowledge Management, McLean, VA: ACM Press Nov. 2002
4. *Resende L. and Feng R.,* Handling heterogeneous data sources in a SOA environment with service data objects, in Proceedings of the 2007 ACM SIGMOD international conference on Management of data, New York, NY: ACM Press, 2007.
5. *Cunningham H., Maynard D., Bontcheva K.,* et al. Developing Language Processing Components with GATE Version 7. The University of Sheffield.
6. *Amelie Kutter* and *Cathleen Kantner* 2011. How to get rid of the Noise in the Corpus: Cleaning Large Samples of Digital Newspaper Texts. University of Stuttgart, Dept of International Relations & European Integration International Relations Online Working Paper Series.
7. *Паклин Н. Б., Орешков В. И.* Визуализация данных. Отданныхкзнаниям. – 2-еизд. – Спб.: Питер, 2013.

SYSTEM FOR MANIPULATING TEXT CORPORA

Barmina E.I., Bushuev R.N., Kotel'nikova N.V., Lanin V.V., Plotnikova O.A.

National Research University Higher School of Economics,st. Studencheskaya, 38, Perm, Russia, 614070, elenabarmina@ya.ru, bushuev.roman@gmail.com, nadya.kott@gmail.com, lanin@perm.ru, simple_oks@rambler.ru

The topic of research is system for manipulating text corpora. In this article it will observed existing solutions and briefly described advantages and disadvantages of them. We will take a closer look at the aim and objectives. The aim of research is developing system for manipulating text corpora. This research revealed four parts of the work process such as creating data storage, experimental-level component, web editor and visual web application. In conclusion it will be included the outputs of our research and further plans.

Key words: corpus linguistics, data visualization, DSL, cloud storages

УДК 004.421; 004.652.4

ОБ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ЭКСПЕРТИЗЫ ВООРУЖЕНИЯ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Латышев Дмитрий Игоревич

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, dmitry093@yahoo.com

Отмечена актуальность создания современных автоматизированных средств для изучения боевых событий времен Великой Отечественной войны. В связи с этим названы общие положения разработки информационной системы для проведения автоматической экспертизы стрелкового, артиллерийского и других типов оружия по неполным характеристикам выстрела. Обозначены основные особенности первоначального проектирования базы данных и алгоритма программного продукта с элементами математического моделирования. Указаны основные характеристики логической структуры и физического воплощения модели. Приведены сведения о подтверждении написания программного кода информационной системы и проведении апробации работы программы для внутрибаллистической экспертизы стрелкового оружия. Названы направления работы, позволяющие усовершенствовать созданную ранее информационную систему, связанные с изменением математической модели, программного кода и объема базы данных.

Ключевые слова: типвооружения, параметры выстрела, информационная система, база данных, программа, программный код, математическая модель.

Представляется актуальным создание современного автоматизированного средства, которое может использоваться в деятельности поисковых групп, целью которых является восстановление хода боев во время Великой Отечественной войны.

Таким средством может выступать информационная система (ИС), предназначенная для того, чтобы по известным неполным характеристикам определить тип вооружения (стрелкового, артиллерийского и др.) времен Великой Отечественной войны, из которого был произведен обстрел преграды. Главные задачи, определяемые этим предназначением, связаны с изучением по опубликованным данным теоретических основ выбора оптимального решения для создания ИС; проведением анализа имеющихся разработок для последующей постановки задачи; определением методики принятия решений для исследуемой предметной области; осуществлением проектирования ИС; реализацией проекта информационной системы, внедрением и проведением ее опытной эксплуатации. В итоге предполагается получение готовой к использованию информационной системы внутрибаллистической экспертизы вооружения Великой Отечественной войны. В данной статье перечислим и

© Латышев Д.И., 2016 г.

кратко охарактеризуем то, что удалось получить при решении намеченных задач на первом этапе создания названной ИС, а также обозначим перспективы и некоторые результаты ее усовершенствования на последующем этапе исследования.

Концептуальная постановка проблемы, связанной с проектированием информационной системы для проведения внутрибаллистической экспертизы стрелкового вооружения по предварительно заданным параметрам произведенного выстрела, привела к необходимости проанализировать, какие научно-технические предпосылки и возможности имеются для реализации подобного рода ИС. Проведенный анализ показал, что такие предпосылки обеспечены современным уровнем развития инструментального программного обеспеченияразработки информационных систем, богатым набором известных СУБД и опытом применения значительного арсенала языков программирования для создания программного кода системы. В частности, оптимальным для достижения цели был признан программный продукт CASEBERRY; для представления диаграмм был выбран MicrosoftVisio – векторный графический редактор, одновременно являющийся редактором диаграмм и блок-схем для Windows; в качестве СУБД для проектирования ИС избрана MicrosoftSQLServer, а наиболее подходящим объектно-ориентированным языком программирования выступил C# (WinForms).

На первом этапе исследования была создана программа «Внутрибаллистическая экспертиза оружия времен Второй мировой войны», предназначенная для определения вида только стрелкового оружия и нахождения расстояния, с которого был произведен выстрел по заданным параметрам: калибру оружия, массе пули, величине проникания ее в преграду. Данный исследовательский программный продукт имеет целью управление базой данных, выполненной предварительно в СУБД MicrosoftSQLServer, и взаимодействие с ней при проведении внутрибаллистической экспертизы по определению типа оружия и нахождению расстояния, с которого производился выстрел. В базу данных ИС среди прочих входят таблицы, содержащие известные характеристики оружия:калибр, массу, начальную скорость пули; сведения о производителе; тип оружия и для наглядности – его изображение.

С помощью программы предоставляется возможность при заданных значениях параметров выстрела (величины проникания пули в преграду, калибра оружия и массы пули) определить начальную скорость выстрела из стрелкового оружия.

Вычисление расстояния и указание типа стрелкового оружия могут быть выполнены в четырех режимах:

– если известны калибр оружия, масса пули и величина проникания ее в преграду;

– если известны масса пули и величина проникания ее в преграду;

– если известны калибр оружия и величина проникания пули в преграду;

– при известной величине проникания пули в преграду.

Для описания процессов, порождаемых взаимодействием боеприпаса (в том числе, пули) с преградами различного типа применяют эмпирические формулы, т.е. экспериментально полученные соотношения, которые связывают характеристики боеприпаса (массуq и калибр d), скорость встречи V_c с преградой и ее физико-механические свойства [1, с. 233].

В предположении, что из стрелкового оружия производился прямой выстрел в преграду, и без учета силы тяжести, действующей на пулю, определение первоначальной скорости полета пули использует математическую модель, представленную в [2, с. 70], использующую численные методы. В ней скорость соударения снаряда с преградой описывается уравнением $v_0 = \frac{h}{K_n} \cdot \frac{d^2}{m}$, где v_0 – скорость снаряда при попадании в преграду, h – величина проникания его в преграду, K_n – коэффициент податливости преграды, d – калибр, m – масса снаряда. Так, если оружия, соответствующего известным характеристикам, в сформированной базе данных нет, и все дульные скорости помещенного в нее стрелкового оружия больше скорости соударения пули с преградой, программа обращается к приближенному решению системы дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} m\frac{dv}{dt} = -F(v) \\ \frac{dl}{dt} = v \end{cases} \text{ с начальными условиями } \begin{cases} l(0) = 0 \\ v(0) = v_0 \end{cases}$$

(гдеv – скорость полета пули, $F(v)$ – сила сопротивления воздуха движению пули, m – масса пули, l– расстояние полета пули, t – время), описывающей движение пули в воздухе после вылета из канала ствола. Этим устанавливается скорость пули, которую можно сравнить с уже имеющимся в базе данных значением скорости вылета пули, приведенной в виде технической характеристики конкретного стрелкового оружия.

На основе такой модели реализована и апробирована ИС внутрибаллистической экспертизы стрелкового оружияс базой данных, в которой приведены характеристики 94 видов стрелкового оружия времен Второй мировой войны [3] с возможностью дополнения и редактирования записей базы. Имеется свидетельство о регистрации электронного ресурса, отвечающего требованиям новизны и приоритетности, представленного организацией разработчиком ПГНИУ в Объединенный фонд электронных ресурсов «Наука и образование» Института научной и педагогической информации РАО. Технические характеристики и

назначение созданной и успешно апробированной программы таковы: *Тип ЭВМ: Intel Pentium; Тип и версия ОС: Windows XP/Vista/7/8*. Программа «Внутрибаллистическая экспертиза оружия времен Второй Мировой войны» предназначена для определения вида оружия и нахождения расстояния, с которого был произведен выстрел по заданным параметрам: калибру оружия, массе пули, величине проникания ее в преграду. Программа представляет собой Windows-приложение и предназначена для работы в ОС семейства Windows XP и выше. Аппаратные требования: тип ЭВМ – Intel Pentium, тактовая частота – не менее 1000 МГц, оперативная память – не менее 1024 Мб. Аналогов в РФ не существует. Условие передачи/продажи программы: по договорённости с автором [4, с. 12] .

Возможность совершенствования созданной на первом этапе исследования информационной системы состоит в следующем. Во-первых, определение типа вооружения в новой ИС будет предусмотрено не только для стрелкового, но и для артиллерийского и других типов вооружения. Во-вторых, запланировано изменение математической модели, включающей возможность определять начальную скорость полета пули или снаряда по анализу параметров выстрела, как прямой наводкой, так и в случае их движения по криволинейной траектории. В третьих, программный код ИС также должен быть усовершенствован, что позволит экранные формы интерфейса представить в более удобной для пользователя форме: как сайт, а не как Windows-приложение. Последнее достигнуто на основе приведенной в [5] Model-view-controller (MVC) – схемы использования нескольких шаблонов проектирования, с помощью которых модель приложения, пользовательский интерфейс и взаимодействие с пользователем разделены на три отдельных компонента таким образом, чтобы модификация одного из компонентов оказывала минимальное воздействие на остальные.

Таким образом, в конечном итоге, реализуются возможности разработкиИС, отвечающей заявленным требованиям.

Библиографический список

1. *Ефремов А.К.* Особенности расчета контактных датчиков цели взрывателей / А.К. Ефремов// Наука и образование: электронный научно-технический журнал. Эл. № ФС 77–48211. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. С. 233-252. – Режим доступа: http://technomag.bmstu.ru/doc/605972.html (дата обращения: 06.04.2014).
2. *Латышев Д.И.* Информационная система внутрибаллистической экспертизы стрелкового оружия Второй мировой войны // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика: научный журнал. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2014. Вып. 2 (25). С. 69-78.

3. *Шунков В.Н.* Оружие пехоты 1939-1945. Военная техника /В.Н. Шунков. – Минск: Харвест, 1999. – 624 с.
4. *Латышев Д.И.*Программа «Внутрибаллистическая экспертиза оружия времен Второй Мировой войны». № ОФЭРНиО: 20117 [Электронный ресурс] // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование» № 05 (60) май 2014. С. 12. URL: https://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwjb5KP99OjLAhWKF5oKHYZiBwwQFgguMAM&url=http%3A%2F%2Fmoodle.mininuniver.ru%2Fpluginfile.php%2F867%2Fmod_forum%2Fattachment%2F1051%2F%25D0%2593%25D0%25B0%25D0%25B7%25D0%25B5%25D1%2582%25D0%25B0%2520%25D0%25A5%25D1%2580%25D0%25BE%25D0%25BD%25D0%25B8%25D0%25BA%25D0%25B0%2520-5.doc&usg=AFQjCNEaLX7lOX8OMM5Qlt-HXUCaeiFVLg&cad=rjt (дата обращения: 20.03.2016).
5. *Рогачев С.* Обобщенный Model-View-Controller: Каркас на основе шаблона проектирования MVC в исполнении Generic Java и C#. URL: http://rsdn.ru/article/patterns/generic-mvc.xml (дата обращения 15.04.2016).

ABOUT THE INFORMATION SYSTEM OF EXAMINATION OF WEAPONS OF GREAT PATRIOTIC WAR

Latyshev Dmitry I.

Perm State University, st. Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990, dmitry093@yahoo.com

The urgency of creation of modern automated tools for the study of martial events of the Great Patriotic War. In this connection, it called the general provisions of the development of an information system for the automatic examination of small arms, artillery, and other types of weapons on the incomplete performance of the shot. Outlined the main features of the original database design and software algorithm with elements of mathematical modeling. The shown are the main characteristics of the logical structure and physical incarnation of the model. The information about the confirmation writing code information system and conduct testing of the program of work for internal ballistics examination of small arms. Identified areas of work , allowing to improve the previously created an information system related to the change of mathematical model , code and database volume .

Keywords:type of weapon, shot parameters, information system, database, software, code, mathematical model.

УДК 004.82

TAISIM: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТЕКСТОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПОСТРОЕНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ОНТОЛОГИЙ

Нам Александр Ильич, Чуприна Светлана Игоревна, Костарева Таисия Алексеевна

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

В данной работе представлена система автоматической обработки текстов (АОТ), которая представляет собой одновременно и среду для автоматизированного обучения решению задач класса АОТ и среду для разработки приложений класса АОТ. Система позволяет на основе лексико-синтаксических шаблонов автоматически извлекать из текстов на английском и русском языках понятия и отношения между ними, отражающие онтологический профиль анализируемого текстового источника: учебника, научной статьи, отчета по НИР и т.п.В части NLP-обработки система является унаследованной от системы SERELEX. Используя результаты NLP-обработки разработанный авторами модуль визуализации позволяет строить начальное представление онтологии. Результат подобной обработки может облегчить обмен знаниями между специалистами различных профилей в рамках междисциплинарных проектов в любой области естествознания.

Ключевые слова: автоматическая обработка текстов, автоматизация построения онтологий, использование онтологий в междисциплинарных проектах

На сегодняшний день одной из наиболее актуальных проблем является эффективная и качественная обработка неструктурированных и полу-структурированных данных, представленных в виде текстов на естественном языке. Для приобретения опыта и навыков, необходимых для непосредственного участия в разработке NLP-систем (систем автоматической обработки текстов – Natural Language Processing), необходимо создание новых типов программных средств для автоматизации процесса создания NLP систем и обучения NLP.

В данной работе представлена программная среда TAISim, которая может использоваться как среда обучения NLP, позволяющая использовать различные компоненты типичной NLP-системы, такие как токенизация, морфологический анализ, синтаксический анализ и другие, унаследованные от системы SERELEX (http://serelex.cental.be/) компоненты, для изучения и решения задач АОТ. В основе унаследованной системы лежат pattern-based методы анализа. Для оценки результатов работы системы TAISim используется встраиваемая система визуализации TaILex. Компонент TaILex, принимая на вход результат обработки

© Нам А.И., Чуприна С.И., Костарева Т.А., 2016 г.

текста, позволяет визуализировать извлеченные понятия и отношения в виде таксономии, где в качестве связей используются отношения синонимии, гипоним-гипероним, когипонимии. Таким образом, эта подсистема имеет и самостоятельное значение в плане решения задач автоматизированного построения онтологий по результатам NLP.

Подобный инструмент дает возможность специалистам в некоторой области систематизировать свои знания путем автоматического построения и визуализации для целей анализа предметных онтологий на основе подбора специализированных текстов. Результат подобной работы может быть отчужден и доступен для повторного использования в рамках коллективной работы над междисциплинарными проектами.

В качестве примера рассмотрим процесс автоматического построения онтологии на базе результатов NLP электронной версии книги «Concepts of Biology». [1]. На рис. 1 представлен внешний вид стартовой страницы системы TAISim.

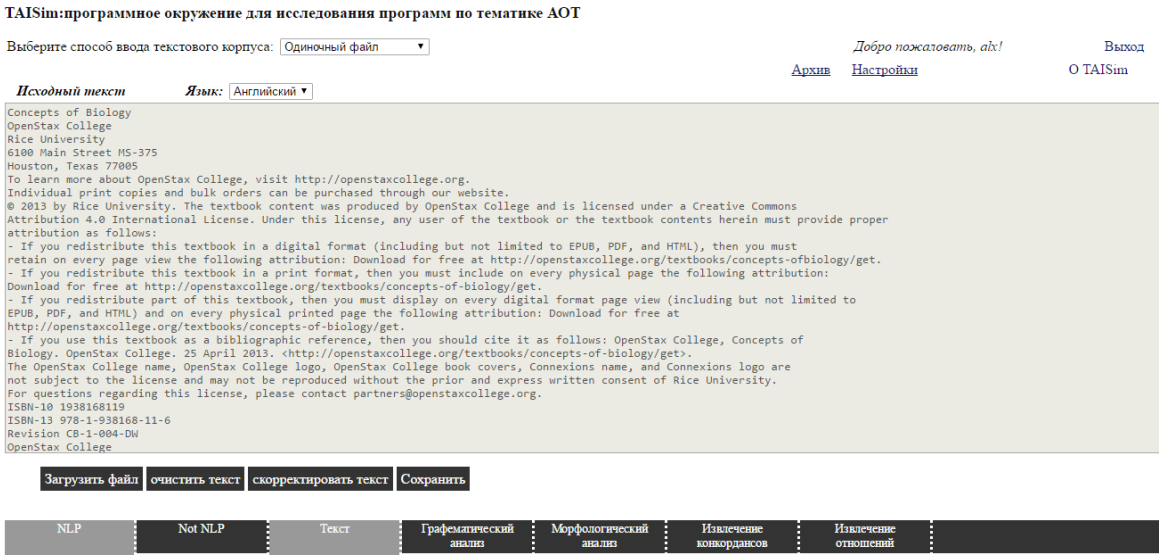


Рис. 1. Внешний вид системы АОТ TAISim.

В результате прохождения всех этапов обработки, синтаксического анализа, семантического анализа, система на выходе формирует данные об извлеченных понятиях и отношениях (рис. 2).

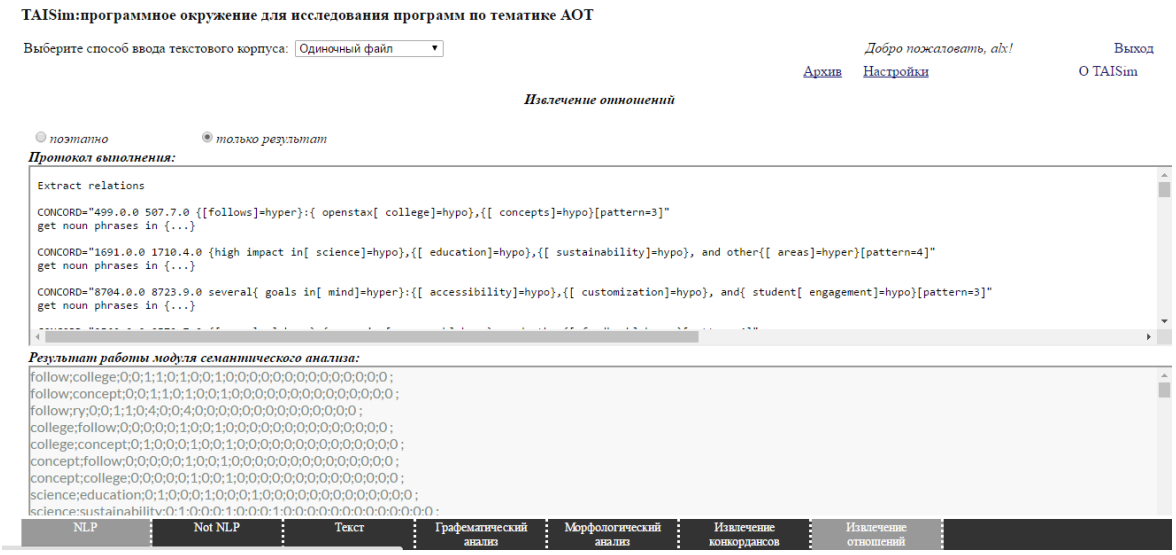


Рис. 2. Понятия и отношения, извлеченные из входного текста.

Эти данные принимает на вход модуль визуализации TaILex. Используя полученные данные TaILex строит таксономию понятий и отношений между ними (рис. 3).

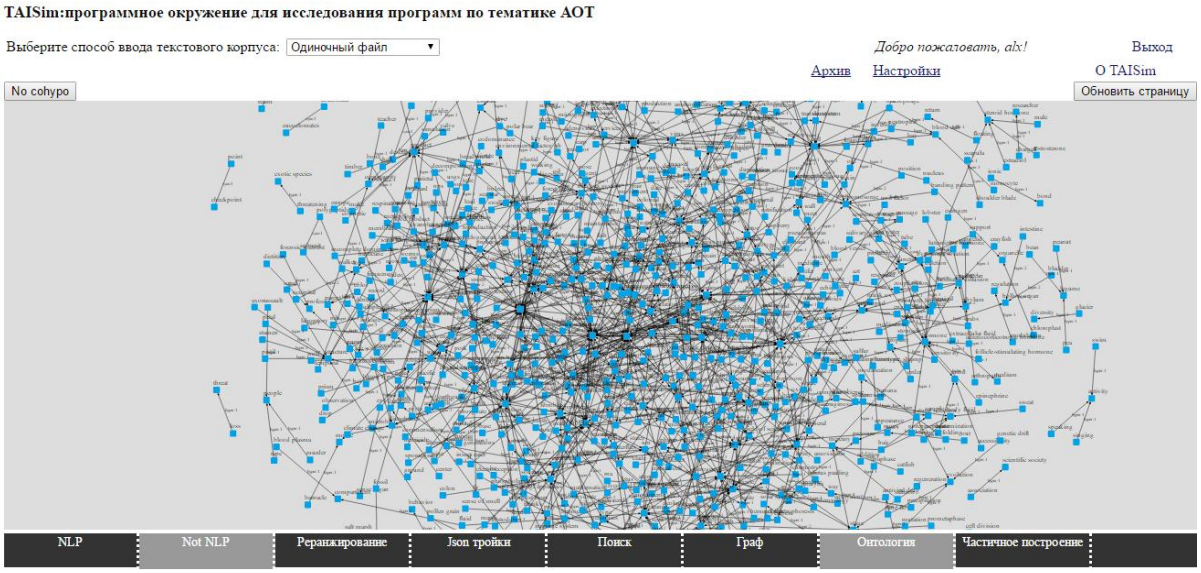


Рис. 3. Общий вид автоматически построенной онтологии взаимосвязанных понятий из книги «Concepts of Biology» [1].

На рис. 4-5 представлены фрагменты онтологии, автоматически построенной на базе результатов NLP первоисточника [1].

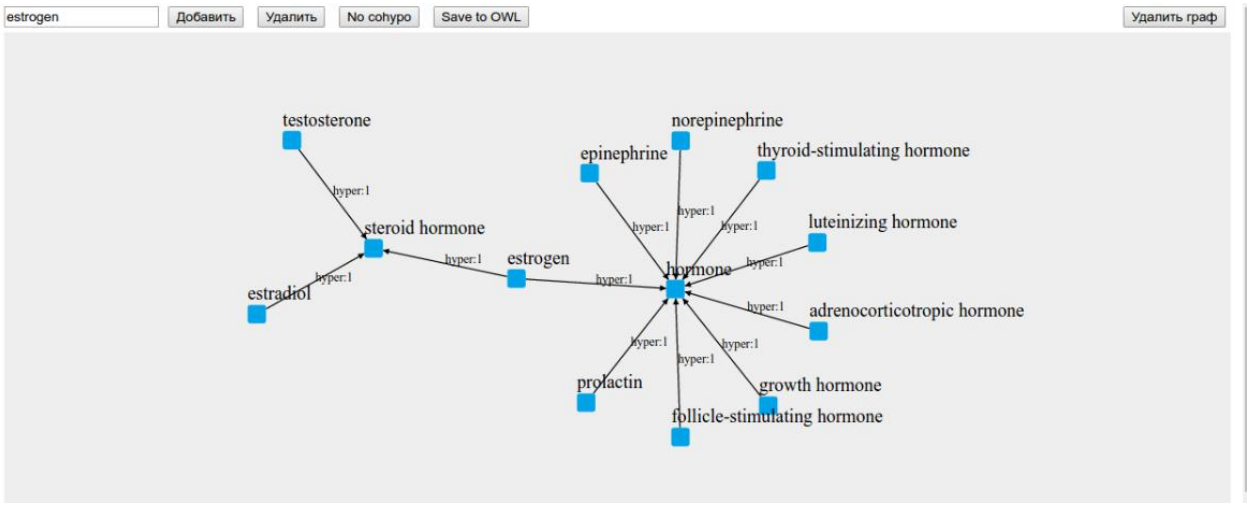


Рис. 4. Фрагмент описания понятия «Hormone» из автоматически построенной онтологии из области биологии

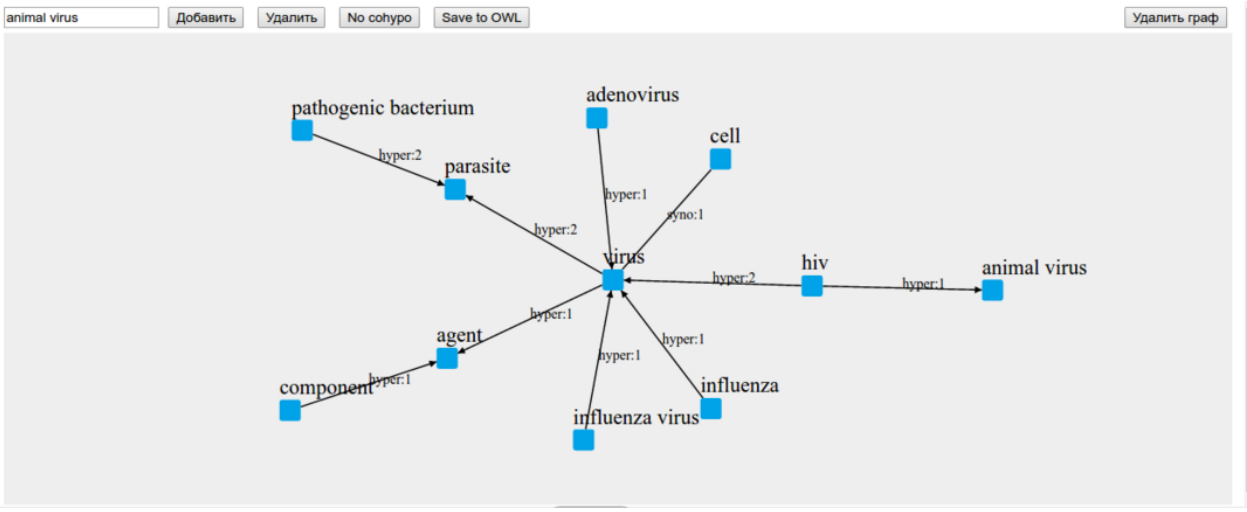


Рис. 5. Фрагмент описания понятия «Virus» из автоматически построенной онтологии из области биологии

Если, к примеру, возникает необходимость в постановке задачи и разработке соответствующего технического задания на реализацию некоторого ИТ-проекта в области биологии, то система TAISim может оказаться незаменимым помощником для сокращения времени погружения в систему необходимых понятий (рис. 4) ИТ-специалистов, привлекаемых для работы над проектом. При этом от специалиста в области биологии (аналогично, в любых других областях естествознания) требуется только подобрать своего рода «эталонные» научные тексты, достаточно полно отражающие тематику соответствующей проблемной области и подать их на вход TAISim. В случае необходимости, предоставляется возможность сохранения полученных онтологий в стандарте формата owl с последующим обогащением созданных онтологий в любом визуальном редакторе онтологий, например, в среде ОНТОЛИС [2], который специально

предназначен для создания и интеграции различных онтологий специалистами, не являющимися профессионалами в области онтологического инжиниринга.

Библиографический список

1. OpenStaxCollegeConceptsofBiology // OpenStaxCollege, 2013. – 638 с.
2. *Чуприна С.И., Зиненко Д. В.* ОНТОЛИС: адаптируемый визуальный редактор онтологий. Вестник пермского университета Вып. №3 (22) // Перм. ун-т. – Пермь, 2013. С.106-110.

TAISIM: USE OF AUTOMATIC TEXT PROCESSING RESULTS FOR THE AUTOMATED CONSTRUCTION AND VISUALIZATION OF ONTOLOGIES

Alexander Nam, Svetlana Chuprina, Taisiya Kostareva

PermStateUniversity, st. Bukireva, 15, Perm,Russia, 614990, alxnam@gmail.com

In this paper, we present an automatic text processing (NLP)system, which is both a learning environment for automated tackling of NLP class tasks and environment for the development of NLP-class applications. Based on lexical and syntactic patterns the system allows, automatic extraction of concepts and their relationshipsfrom the texts in English and Russian languages, reflecting the ontological profile of the analyzed text sources: textbooks, scientific articles, research reports, etc. The NLP-processingpart of the system, is successorof SERELEX system. Using NLP-processed results, visualization module of the system allows you to build an initial state of ontology. The result of such processing can facilitate the exchange of knowledge between professionals of different profiles withinthe work on interdisciplinary projects in any field of science.

Key words: Natural Language Processing, Learning environment, NLP system framework implementation, Ontology-driven methods, Ontology extraction methods, Ontology visualization

УДК 519.25

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ БУКВ, ПЕРЕДАЮЩИХ ГЛАСНЫЕ, В ИТАЛЬЯНСКИХ, РУССКИХ, ФРАНЦУЗСКИХ И НЕМЕЦКИХ ПЕСЕННЫХ ТЕКСТАХ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

Петрова Алена Леонидовна, Соловьева Алла Анатольевна

Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского, 150000, Россия, г. Ярославль, ул. Республиканская, 108, petrova.dfaser@yandex.ru, asolovyeva@yandex.ru

Бытует мнение, что на итальянском языке легче петь, и именно в Италии зародилось оперное искусство Bel canto (прекрасный голос), на которое опираются все вокалисты мира. Почему на других языках петь сложнее? Заинтересовавшись этим вопросом, мы провели сравнительно-сопоставительное исследование итальянских, русских, немецких и французских песенных текстов по количеству букв, передающих гласные, в выборках порций текста, т.к. именно гласные являются слогообразующими элементами, на которых тянется голос. Для выявления особенностей распределений количества гласных в порциях итальянских, русских, немецких и французских песенных текстов применен метод описательной статистики (составлены вариационные ряды выборок по выделенному признаку, найдены числовые характеристики и даны их интерпретации). С помощью t-критерия Стьюдента была подтверждена гипотеза о том, что средний уровень количества букв, передающих гласные, в выборке десятибуквенных порциях песенных итальянских текстов значимо больше чем в песенных русских, французских и немецких текстов.

Ключевые слова: методы математической статистики, математическое моделирование, песенная поэзия, гуманитарные области знания, языкознание.

Одной из причин обращения языкознания к математическим методам, как это показано в [1], является необходимость в систематизации, измерении и обобщении лингвистического материала в сочетании с содержательной интерпретацией результатов, что в свою очередь позволяет языковедам изучать особенности построения языка и образования текста.

Каждый народ имеет свой национальный язык, на базе которого оформляется литературный язык, обработанный мастерами художественного слова, подчиняющийся тем же грамматическим нормам, что и язык национальный. Одним из видов литературного языка является песенная поэзия. В поэзии вообще, и в песенной в частности, наиболее полно проявляются текстовые особенности языка благодаря требованиям метро-ритмических норм, организованности на фонологическом, рифмовом, лексическом и идейно-композиционном уровнях [2]. Изучая «поющиеся тексты» В. А. Гавриков в [3] утверждает, что они имеют

© Петрова А.Л., Соловьева А.А., 2016 г.

свои отличительные особенности, являясь репродукцией поэтического текста, в котором проявляется артикуляционный субтекст.

Представители вокального искусства обращают внимание на то, что итальянские песни удобнее для исполнения по сравнению с песнями, написанными на других национальных языках. В связи с этим наблюдением, в качестве объекта исследования нами были выбраны песенные тексты итальянских, русских, французских и немецких музыкальных произведений. Предметом исследования особенностей выделенных групп песенных текстов на первом этапе нашей работы взяты буквы, передающие гласные как слогообразующие составляющие текста, на которых тянется голос.

Были исследованы тексты музыкальных произведений итальянских композиторов (Дж. Кариссими,А. Вивальди, А. Скарлатти, Д. Джордани, М. Руччоне, Ф. Белласио, Б. Феррари и др.) русских композиторов (Н. А. Римский-Корсаков, П. И. Чайковский, О. Даргомыжский, М. Глинка, С. Танеев А. Кастальский и др.), немецких композиторов (И. Брамс, М. Регер, Г. Пфитцнер, Р. Франц, Я. Сибелиус, К. Цельтер, Ф. Мендельсон и др.) и французских композиторов (Ж. Брассанс, Ж. Брель, Ш. Азнавур, М. Филипп-Жерар, К. Брюн, Г. Форе, А. Гретри и др.). Случайным образом выбраны 15 песенных текстов из каждой группы. Чтобы составить выборку порций текста, из каждой песни взято в начале 10 порций текста по 10 букв. Получены 4 выборки по 150 десятибуквенных порций текста, для которых составлены распределения по выделенному признаку.

Таблица 1. Распределения букв, передающих гласные, в выборках 10-тибуквенных порций песенных текстов

Итальянские песенные тексты

x_i	3	4	5	6	7	$\Sigma n_i = n$
n_i	7	54	68	19	2	150

Немецкие песенные тексты

z_i	2	3	4	5	6	7	$\Sigma n_i = n$
n_i	16	56	66	9	2	1	150

Русские песенные тексты

y_i	2	3	4	5	6	7	$\Sigma n_i = n$
n_i	1	21	85	39	3	1	150

Французские песенные тексты

w_i	3	4	5	6	7	$\Sigma n_i = n$
n_i	30	51	51	17	1	150

Описательным методом математической статистики проведена обработка собранных данных 4 выборок: составлены вариационные ряды (табл.1), найдены числовые характеристики положения (выборочная средняя, мода, медиана) и рассеивания (размах вариации, дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации) полученных вариационных рядов; интерпретированы числовые характеристики и проведен сравнительный анализ полученных числовых характеристик также, как и в [4]. Сравним полученные числовые характеристики (табл.2).

Таблица 2Сопоставление числовых характеристик количества букв, передающих гласные, в 10-тибуквенных порциях текста

Числовые характеристики	**x***	**M_o**	**M_e**	**R**	**σ**	**V**
Итальянские песенные тексты	4,7	5	5	4	0,8	16,98%
Русские песенные тексты	4,17	4	4	5	0,73	17,6%
Немецкие песенные тексты	3,52	4	4	5	0,86	24,5%
Французские песенные тексты	4,39	4 и 5	4	4	0,95	21,67%

В результате большие значения характеристик положения наблюдаются в выборке из итальянских песенных текстов. Выборочная средняя количества букв, передающих гласные, в 10-тибуквенных порциях итальянских песенных текстов составляет 4,7 буквы, что является наибольшим результатом по сравнению с песенными текстами других языков (4,17 буквы – для русских, 4,39 буквы – для французских и 3,52 буквы – для немецких). Мода и медиана в итальянских песенных текстах (5 букв) – наибольший показатель, во французских песенных текстах наблюдается 2 моды (4 буквы и 5 букв), остальные показатели моды и медианы равны 4 буквам.

В 10-тибуквенных порциях итальянских песенных текстов разброс значений букв, передающих гласные, составляет 4 буквы (от 3 до 7 букв) так же, как и во французских песенных текстах, что меньше, чем в русских и немецких песенных текстах– 5 букв (от 2 до 7 букв). Средний уровень рассеивания значений количества букв, передающих гласные,относительно своих выборочных средних показывает большие результаты в немецких и французских песенных текстах, что указывает на большую однородность последних по сравнению с итальянскими и русскими. Показатели коэффициента вариации (16,98%; 17,6%; 24,5% и 21,67%) меньше 33%, значит все 4 выборки порций песенных текстов качественно однородны по рассматриваемому признаку.Значит, показатели выборочной средней для каждой выборки песенных текстов можно рассматривать как характерные особенности для исследуемых групп песенных текстов.

Для подтверждения предварительного вывода о различии в уровне количества букв, передающих гласные, в выборках для итальянских песенных текстов и других групп песенных текстов, применим t-критерий Стьюдента (т.к. $n_1>60$, $n_2>60$). Сравним показатели в итальянских и русских песенных текстах. Учитывая, что выборочные средние соответственно равны 4,7 буквы и 4,17 буквы, сформулируем статистические гипотезы H_o = {различия в количестве букв, передающих гласные, в 10-тибуквенных порциях итальянских и русских песенных текстов незначимы} и альтернативную H_1 о значимости различий.

Найдем исправленные выборочные дисперсии:

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1}\sum_i (x_i - x^*)^2 \cdot n_i = \frac{1}{149} \cdot 80{,}83 = 0{,}54\,;\ S_Y^2 = \frac{1}{m-1}\sum_j (y_j - y^*)^2 \cdot n_j = 0{,}64\,.$$

Вычислим эмпирическое значение критической статистики:

$$t_{\text{эмп}} = \frac{\left|x^* - y^*\right|}{\sqrt{(n-1)S_x^2 + (m-1)S_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}} =$$

$$= \frac{\left|4{,}7 - 4{,}17\right|}{\sqrt{149 \cdot 0{,}64 + 149 \cdot 0{,}54}} \cdot \sqrt{\frac{150 \cdot 150 \cdot (150+150-2)}{150+150}} = 5{,}97\,.$$

Поскольку $t_{эмп} = 5{,}97 > 2{,}58 = t_{\text{кр}}$ (при α=0,01), то нулевую гипотезу о незначительности различий отвергаем. Следовательно, в количестве букв, передающих гласные, в порциях итальянских и русских песенных текстов различия высоко значимы. Аналогично эмпирическое значение критерия для итальянских и немецких песенных текстов $t_{эмп} = 12{,}27 > 2{,}58 = t_{\text{кр}}$, а для итальянских и французских песенных текстов $t_{эмп} = 3{,}05 > 2{,}58 = t_{\text{кр}}$ (при α=0,01). Таким образом, подтверждено на высоком уровне значимости α=0,01, что количество букв, передающих гласные, в выборках итальянских песенных текстов значимо больше, чем в русских, немецких и французских.

Библиографический список

1. *Пиотровский Р. Г., Бектаев К. Б., Пиотровская А. А.* «Математическая лингвистика» Учебное пособие для педагогических институтов. – Москва: «Высшая школа», 1977. – 383 с.
2. *Лотман Ю. М.* Анализ поэтического текста. – Л., 1972.
3. *Гавриков В. А.* Феномен пения и песенная поэзия: функциональный аспект. // Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова. – №3., 2010 – С.125-128.
4. *Соловьева А. А.*, *Карпова А. С.* Анализ произведений Л.Н.Толстого и А.П.Чехова по длине слова методом описательной статистики. // Проблемы филологии, культурологии и искусствоведения в свете современных исследований: сборник материалов 14-й международной науч.-практ. конф. (г. Махачкала, 18 октября, 2015 г.). – Махачкала, 2015. – С. 117-120.

ANALYSIS OF VOWEL LETTER DISTRIBUTION IN MUSICAL LYRICS VIA USE OF MATHEMATICAL STATISTICS METHODS (A CASE STUDY OF ITALIAN, RUSSIAN, FRENCH AND GERMAN SONGS)

Petrova Alena L., Solovyeva Alla A.

Yaroslavl State Pedagogical University, st. Respulikanskaya, 108, Yaroslavl, Russia, 150000, petrova.dfaser@yandex.ru, asolovyeva@yandex.ru

It is a long held perception that Italian is a language designed for singing. It was in Italy that the Bel canto (literally meaning "a beautiful voice") vocal style emerged, whereupon today it dominates opera singing throughout the world. Why are other languages less adapted for singing? Taking an interest in this question, we carried out a comparative research of Italian, Russian, German and French musical lyrics based on the vowel quantity per text segment parameter as vowels generally refer to syllabic elements causing the voice to extend. The method of descriptive statistics was used for detecting the peculiarities of vowel quantity distribution in segments of Italian, Russian, German and French musical lyrics (we compiled variation series based on a given parameter, found the quantitative characteristics and proposed their interpretations). Student t-test was made to confirm the hypothesis for the mean quantity of vowels in a 10-letter text segment of Italian musical lyrics significantly exceeding that in identical segments of Russian, German and French texts.

Key words: methods of mathematical statistics, mathematical modeling, musical lyrics, humanities, linguistics.

УДК 004.912

СИСТЕМА ПОИСКА ДОКУМЕНТОВ, РЕЛЕВАНТНЫХ ЗАДАННОМУ ТЕКСТУ

Полушин Глеб Валерьевич

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 614070, Россия, г. Пермь, ул. Студенческая, 38, polushin.gleb@mail.ru

Статья посвящена вопросам автоматизации процесса поиска документов релевантных заданному тексту. Поиск актуальной литературы является нетривиальной задачей, так как требует временных затрат и предъявляет определенные требования к читателю. В данной работе предложены методы, позволяющие минимизировать трудозатраты при поиске релевантной литературыи автоматизировать весь процесс, произведен анализ существующих программных решений по извлечению ключевых слов из текстов на русском языке. Описан способ извлечения ключевых фраз из текста на русском языке с использованием метрики TF-IDF. Также описан способ автоматизированного поиска актуальных документов по извлеченным ключевым словам с использованием бесплатной поисковой системы по полным текстам научных публикаций всех форматов и дисциплин GoogleScholar. На практике система может быть использована студентами, преподавателями и всеми, кто занимается научной деятельностью.

Ключевые слова: извлечение ключевых слов, автоматизированный поиск, обработка текста.

Введение

Одним из ключевых навыков в научной деятельности является поиск литературы по интересующей теме. Условно процесс поиска релевантной литературы можно разделить на два этапа: извлечение ключевых слов из текста и поиск литературы по ключевым словам. Каждый из этапов является самостоятельной задачей.

Процесс составления ключевых фраз текста очень трудоемок и занимает большое количество времени. Решением данной проблемы является автоматическое извлечение ключевых фраз из текста. Существуют различные алгоритмы и системы по извлечению ключевых фраз. Однако обычно такие системы не универсальны и могут работать с одним – двумя языками, так как большую роль в данном процессе играют особенности языка. Русский язык достаточно сложен для автоматической обработки, соответственно существует не так много систем по извлечению ключевых фраз из текстов на русском языке.

При поиске литературы по ключевым словампользователь обычно работает с электронной библиотекой, выполняя запрос по извлеченным ключевым словам. Существуют различные сайты, приложения, которые работают с известными базами данных, либо имеют свою базу данных научной литературы.

© Полушин Г.В., 2016 г.

Во время изучения степени разработанности проблемы, было обнаружено отсутствие систем, которые бы автоматически выполняли оба этапа поиска литературы. Автоматизированы только отдельные этапы процесса, а не сам процесс, соответственно разработка системы поиска релевантной литературы является в настоящее время актуальной темой.

Анализ систем извлечения ключевых слов из текста

Системпо извлечению ключевых слов на русском языке достаточно мало. Рассмотрим некоторые их них.

ContentAnalyzer [1] – инструмент для анализа содержания тематических web-страниц в реальном времени, выделения списков ключевых слов и словосочетаний, построенияавтореферата текста документа. Функционирование ContentAnalyzer обеспечивается за счёт вычисления частоты термина или словосочетания в документе. Система анализирует текст в реальном времени, что очень удобно, однако методы выделения ключевых слов являются достаточно примитивнымии неэффективными.

TextAnalyst [2] – инструмент для поиска информации и анализа содержания текстов, имеющий возможность выделения ключевых слов. Функционирование TextAnalyst основано на применении методов обработки естественного языка в сочетании с методами машинного обучения. В процессе своей работы, система создает иерархическую нейронную сеть. Сетьсодержит несколько слоев: фрагменты, которые встречаются в тексте более одного раза, хранятся в тех нейронах, которые принадлежат к более высоким уровням сети.

Tesuçk [3]– это веб-сервис автоматического выделения ключевых слов и словосочетаний из текста на естественном языке. Также сервис позволяет произвести автореферирование текста. Сервис строит графовую модель текста, используя метод TextRank, который используется для вычисления весов вершин графа.

Описание предлагаемого подхода

Предложено разработать систему поиска документов, релевантных содержанию заданного текста. Система должна совмещать в себе два этапа поиска релевантной литературы: извлечение ключевых слов и поиск по ним литературы в базах данных научных публикаций. На вход системе подается статья, после обработки которой пользователю выводятся ключевые слова и фразы с предложением выбрать нужные для поиска в Интернете. После поиска пользователю выдаются ссылки на статьи по данной теме.

При извлечении ключевых фраз предложено выбрать все N-граммы длины 1 и 2. В случае если это одно слово, то это должно быть существительное. В случае двух слов

возможны два варианта: это может быть прилагательное и существительное или два существительных, причем второе в родительном падеже. Необходимо приводить термины в нормальную форму, чтобы избежать дублирования при ранжировании. Для ранжирования кандидатов предложено выбрать метрику TF-IDF (1), которая является самой распространенной мерой для расчета информативности терминов [4]. Вес термина пропорционален количеству употреблений данного термина в документе, и обратно пропорционален частоте употребления в других документах коллекции.

$$TF - IDF = TF * IDF \quad (1)$$

TF (Term Frequency) – частота термина в анализируемом документе, отношение числа вхождения термина к количеству терминов в документе (2):

$$TF = \frac{n_i}{\sum n_k} \quad (2)$$

IDF (Inverse Document Frequency) – инвертированная частота документа, частота с которой термин встречается в других документах коллекции (3):

$$IDF = \log \frac{N}{df}, \quad (3)$$

где N – общее количество документов в коллекции (корпусе), df – количество документов, содержащих термин. Выбор основания логарифма не имеет значения, так как не влияет на соотношение весов терминов. Для расчета IDFнеобходимо произвести предварительную обработку корпуса научных текстов на русском языке. В процессе поддержки системы нужно периодически производить перерасчет частот терминов, для поддержания актуальности.

Для непосредственного поиска документов по ключевым словам предложено использовать инструменты Академии Гугл (GoogleScholar) [5], так как ее индекс включает данные из большинства рецензируемых онлайн журналов крупнейших научных издательств. Для получения результатов поиска необходимо осуществить GET-запрос с параметрами, в качестве параметров указать извлеченные ключевые слова. При необходимости в параметрах можно указать дополнительные условия, например, огранить поиск определенными типами результатов (книги, ссылки на pdf файлы и т.д.) или выбрать параметр, по которому нужно сортировать результаты поиска. Далее необходимо осуществить синтаксический разбор полученной web-страницы и извлечь из нее ссылки на статьи.

Разрабатываемая система позволяет автоматизировать процесс поиска документов, релевантных содержанию заданного текста, что значительно снижает трудоемкость данного процесса и временные затраты.

Библиографический список

1. CleverStat.Sitecontentanalyzer [Электронныйресурс] URL: http://www.cleverstat.com/ru/sca-website-analysis-software-index.htm (дата обращения 13.03.2016).
2. Microsystems.Textanalyst[Электронныйресурс] URL: http://libots.sourceforge.net (дата обращения 05.03.2016).
3. Tesuçk.Веб-сервис Tesuçk[Электронныйресурс] URL: http://tesuck.eveel.ru (дата обращения 11.03.2016).
4. *EvansD.A., Lefferts R.G.*Clarit-trec experiments // Information processing &management. 1995. Vol. 31, no. 3. P. 385–395.
5. Google Scholar.Академия Google [Электронный ресурс] URL: https://scholar.google.ru (дата обращения 13.03.2016).

RELEVANT DOCUMENTS SEARCH SYSTEM

Polushin Gleb V.

National Research University Higher School of Economics,
st. Studencheskaya, 38, Perm, Russia, 614070, polushin.gleb@mail.ru

The article is dedicated to the relevant documents search process automation. Relevant literature search is a non-trivial task, as it requires time and imposes certain requirements to the reader. The paper proposes methods to minimize efforts required to find relevant literatureand to automatize the search process. The analysis of existing software solutions for extracting keywords from texts in Russian is given. Method of extracting key phrases fromRussian text using metrics TF-IDF is described. Method of automatic search of relevant documents with the extracted keywords using a free search engine for full texts of scientific publications of all formats and disciplines Google Scholar is also described. In practice, the system can be used by students, teachers and all who are engaged in scientific activities.

Key words: keywords extraction, automatic search, text processing.

УДК 004.89

УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ СИСТЕМ ПОИСКА НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ ПО СТРУКТУРИРОВАННЫМ И НЕСТРУКТУРИРОВАННЫМ ИСТОЧНИКАМ ДАННЫХ[1]

Постаногов Игорь Сергеевич

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

Плешкова Ирина Юрьевна

ООО Парагон, 614025, Россия,г. Пермь, ул. Хлебозаводская, д. 16а, elf_irina@mail.ru

На основании статистики установлена важность ориентации как на структурированные, так и на неструктурированные источники данных при построении систем поиска для коммерческих информационных систем. Выделено общее на этапах конфигурирования и функционирования систем, реализующих поиск на естественном языке по различным типам источников данных на базе методов и средств онтологического инжиниринга. Вопросы интеграции источников данных и онтологий со сторонними ресурсами отмечены как наиболее приоритетные.

Ключевые слова: поиск на естественном языке, интеллектуальные информационные системы, онтологии, доступ к данным при помощи онтологий

От подсистем поиска в современных информационных системах требуется всё более быстрое и качественное удовлетворение информационных потребностей пользователей. Среди препятствий, с которыми сталкиваются разработчики поисковых систем, можно выделить:

- увеличение объёма исходных данных, в которых ищется ответ;
- усложнение информационных потребностей;
- необходимость использования сторонних приватных и открытых источников данных.

Наиболее распространённым источником данных для подсистем поиска и анализа коммерческих информационных систем в 2015 г., согласно исследованию [1], были базы данных. Их использовали в 63% из опрошенных организаций. В то же время значительную долю занимали и неструктурированные источники данных, такие как электронные письма (61% организаций) и текстовые документы (49% организаций). К поисковым системам начинает предъявляться требование поддержки голосового ввода, ставшего привычным

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «УМНИК».
© Постаногов И.С., Плешкова И.Ю., 2016 г.

пользователям виртуальных помощников*Google Now, Siri* и*Cortana*. Средства анализа, дополняющие всё более интеллектуальные поисковые механизмы, становятся частью современных поисковых систем. В то же время для проведения качественного анализа или, по крайней мере, для формирования качественной поисковой выдачи требуется привлекать всё больше сторонних источников данных. Исходя из этого, актуальными являются задачи разработки унифицированных методов и средств интеллектуального поиска в структурированных и неструктурированных источниках данных и упрощения интеграции различных источников такого рода.

Авторами разрабатываются взаимодополняющие системы поиска по различным типам источников данных. Исследования в рамках проекта по построению системы интеллектуального поиска на естественном языке в структурированных источниках данных на базе онтологий *Reply*[2] посвящены вопросам автоматизированной трансформации информационной системы, использующей реляционную базу данных в качестве подсистемы хранения данных, в систему, предоставляющую доступ к данным при помощи онтологий (*Ontology-basedDataAccessSystem, OBDA*-систему) [3], а в рамках проекта по разработке системы семантического поиска по текстовым документам [4] – вопросам построения семантического индекса для коллекций документов потенциально неограниченного объёма.

Конечной целью этих систем является предоставление пользователю возможности поиска при помощи запросов на естественном языке. Преимуществами естественно-языковых интерфейсов, в сравнении с конструкторами запросов на основе форм или интерфейсами задания запросов на специализированных формальных языках, являются [5]:

- отсутствие необходимости изучения специализированного средства формулирования запроса;
- большая адекватность для некоторых типов запросов;
- учёт системы понятий предметной области.

Требование относительной независимости от подсистем хранения данных, от конкретного естественного языка и предметной области в конечном счёте определили необходимость использования промежуточных языков запросов. Знания о предметной области в упомянутых системах представляются в виде онтологий [6], а исходные запросы пользователей преобразуются на их основе. В качестве языка описания онтологий используется язык *OWL*.

Этап конфигурирования систем

Вне зависимости от типа источника данных, на этапе конфигурирования систем происходит отображение элементов имеющихся данных на элементы онтологий, однако особенности этого отображения различаются.

Для реляционных баз данных отображение настраивается правилами отображения элементов терминологической части онтологии (*TBox*) на элементы схемы базы данных. В дальнейшем на основе этих правил и данных в базе данных *OBDA*-фреймворк виртуально достраивает фактологическую часть онтологии (*ABox*), тем самым создавая единое представление, объединяющее все имеющиеся знания и данные.

Для системы поиска по коллекции текстовых документов в работе [7] предложено строить индекс в виде онтологического профиля документов, т.е. списка пар «понятие, вес», куда входят только те понятия из онтологии, которые либо встретились в документе, либо семантически связаны с понятиями из документа, причём семантическое расстояние между ними не должно превышать порогового значения. Таким образом, каждый из документов также будет иметь своё представление.

Сводимость элементов исходных данных к элементам онтологии в предлагаемом подходе накладывает повышенные требования к качеству онтологии. Онтология, на которую осуществляется отображение, должна одновременно быть и содержательной относительно предметной области, которой принадлежат данные, и достаточной общей, чтобы в запросах можно было использовать обыденные понятия. Наиболее адекватным видится построение такой онтологии из общедоступных онтологий верхнего уровня и онтологий предметной области, созданных в визуальных графических редакторах [8], при помощи средств автоматизированного построения отображений (*ontologymapping).*

Этап функционирования систем

Общим на этапе функционирования систем является необходимость преобразования естественно-языкового запроса пользователя в запрос к построенному онтологическому представлению. Для этого в запросе необходимо выделить понятия, экземпляры этих понятий и их взаимосвязи. Использование онтологий позволяет пользователю задавать запросы с использованием обобщающих и конкретизирующих понятий, тем самым позволяя находить релевантные документы или записи из базы данных, которые могут и не содержать ни одного слова из запроса.

Согласно классическому подходу, запрос проходит последовательные этапы лексико-морфологической, синтаксической и семантической предобработки.В сравнении с разбором предложения в системах *TextMining*, этап выделения именованных сущностей (*named-*

entityrecognition) в рассматриваемых системах может в том числе полагаться на данные в подсистемах хранения данных. Использование внешних лингвистических ресурсов позволяет расширить диапазон терминов, распознаваемых системой. Элементы, полученные в результате такого анализа, преобразуются в запрос на промежуточном языке, специфическом для каждой из систем (подробнее см. в [2, 7]).

Перспективы

Перспективным видится совместное использование и интеграция рассматриваемых подходов к построению систем интеллектуального поиска. Подходы являются взаимодополняющими, поскольку у текстовых документов обычно есть структурированные метаданные, тогда как у структурированных данных – строковые и текстовые поля. Для упрощения внедрения систем также требуется провести дальнейшие исследования в части автоматизации построения отображения между онтологиями и данными.

Библиографический список

1. Big Data and Analytics: The Big Picture [Электронныйресурс] URL: https://ru.scribd.com/doc/258147763/2015-Big-Data-and-Analytics-Infographic (датаобращения: 07.03.2016).
2. *Чуприна С.И., Постаногов И.С.* Концепция обогащения унаследованных информационных систем сервисом запросов на естественном языке // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика, № 2(29), 2015. С. 78-86.
3. *Calvanese D., De Giacomo G., Lembo D., et. al.*Reasoning Web 2009 // Ontologies and Databases: The DL-Lite Approach. 2009. P. 255–356.
4. *Плешкова И.Ю.*Разработка системы семантического поиска по текстовым документам // Материалы X Студенческого регионального конкурса инновационных проектов по программе УМНИК. 27-28 ноября 2014 г. - Пермь, 2014. - С. 38-41.
5. *AndroutsopoulosI., RitchieG.D., ThanischP.* Natural Language Interfaces to Databases - An Introduction, Journal of Natural Language Engineering. (1995) 50.
6. *Gruber T.R.* A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. // Knowledge Acquisition. 1993, 5(2). P. 199–220.
7. *Плешкова И.Ю., Чуприна С.И.* Генетический алгоритм для улучшения качества семантического поиска по текстам научных публикаций // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2015. №18. [Электронный ресурс] URL:

http://cyberleninka.ru/article/n/geneticheskiy-algoritm-dlya-uluchsheniya-kachestva-semanticheskogo-poiska-po-tekstam-nauchnyh-publikatsiy (дата обращения: 07.03.2016).

8. *Чуприна С.И., Насраоуи О.* Применение основанных на онтологиях средств научной визуализации и когнитивной графики для трансформации традиционных информационных систем в интеллектуальные // Научная визуализация. – М.: Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2016. – К. 1, Т. 8, №1. – С. 23-44.

COMMON METHODS AND TOOLS FOR NATURAL LANGUAGE SEARCH OVER STRUCTURED AND UNSTRUCTURED DATA SOURCES

Postanogov Igor S.

PermStateUniversity, st. Bukireva, 15, Perm,Russia, 614990, ipostanogov@outlook.com

PleshkovaIrinaIu.

OOOParagon, st. Hlebozavodskaya, 16a, Perm, Russia, 614025, elf_irina@mail.ru

Structured and unstructured data sources are treated as important for building commercial ready information systems with natural language interface. Similarities during the configuration and operating stages between ontology based natural language search engines for different data sources types are described. Data and ontology integration are identified as one of the top technology trends.

Keywords: naturallanguagesearch, intelligent information system, ontology, ontology-based data access

УДК 81'32

ЭЛЕМЕНТЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В ЛИНГВИСТИКЕ: РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕКСТА[1]

Суворова Валерия Александровна, Бахтин Вадим Вячеславович, Исаева Екатерина Владимировна

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, bakhtin94@bk.ru, ekaterinaisae@gmail.com, valery.suvorova@yandex.ru

В статье рассматривается разработка программного комплекса TSBuilder для автоматизации моделирования терминосистемы. Разработанный программный комплекс идентифицирует в текстах одно-, двух- и трехсловные термины, основы которых имеются в базе данных (ИС «Семограф»). Каждый из полученных терминов относится к определенной категории (полю), для этого используется технология нейронной сети (видоизмененный персептрон Розенблатта). Пользователь имеет возможность изменить полученную автоматически категорию термина, эти исправления будут использованы программой для обучения элемента искусственного интеллекта. Разработанный программный комплекс TSBuilder может быть применен для создания словарей-тезаурусов, построения программ классификации текстов.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ текста, нейросетевое моделирование, моделирование терминосистемы, автоматизированная идентификация терминов, автоматизированная категоризация терминов.

Введение

Целью данной работы является разработка и реализация системы автоматической идентификации и классификации терминов для какой-либо заданной предметной области, которая позволит упростить тезаурусное моделирование терминологии этой области, что является важнейшим способом упорядочения терминостистемы[1].

Основные задачи, вытекающие из поставленной цели:

1. Разработка алгоритма идентификации одно-, двух-, трехсложных терминов в научных текстах с использованием базы терминологии конкретной предметной области.

2. Разработка алгоритма классификации полученных терминов с использованием элементов искусственного интеллекта при наличии существующей системы классов данной области.

3. Реализация алгоритмов из п.1,2 в едином программном комплексе.

[1] Работа выполнена в рамках проекта «Тезаурусное моделирование предметной области компьютерной вирусологии с применением нейросетевых технологий для автоматизации разработки онтологий» при поддержке гранта РФФИ 2014-2015 гг. (№14-06-31143).
© Суворова В.А., Бахтин В.В., Исаева Е.В., 2016 г.

Автоматическая идентификация терминов

В качестве основного метода интеллектуального анализа текста с целью идентификации терминов был выбран метод деревьев принятия решений[2].

Алгоритм *автоматической идентификации терминов* получает на вход текст для анализа, а также список терминов *LT (listofterms)*, импортированных из БД (ИС «Семограф»). Алгоритм включает в себя следующую последовательность действий:

1. идентифицируется отдельное слово, и определяются его координаты (номер абзаца, номер слова в абзаце);

2. определяется основа данного слова (основа слова находится путём отбрасывания наиболее часто встречающихся приставок, суффиксов, окончаний);

3. текущее слово сохраняется в бинарное дерево поиска, каждый элемент которого имеет следующий вид:

   a) основа слова;
   b) список слов с данной основой (каждый элемент списка включает слово и его координаты в тексте);
   c) логическая переменная *flag*, которая обозначает, является ли данная основа термином (изначально равно значению «ложь»).

4. Затем запускается поиск терминов из списка *LT* по дереву. Если основа термина совпала с основой слова элемента дерева, то логической переменной *flag* текущего элементаприсваивается значение «истина».

5. После проверки всех терминов из списка *LT* происходит «восстановление» последовательности слов в тексте и формируется новый упорядоченный по координатам список *ST (sortedterms)*. Упорядоченный список формируется следующим образом: производится обход по дереву поиска, если у элемента дерева *flag* равняется «истине», токаждый из терминов в списке данного элемента нужно занести их в упорядоченный список *ST*по возрастанию координат (то есть в том порядке, в каком слова встречаются в тексте).

6. Далее создается список *NT(new terms),* в который будут заноситься новые термины, составленные из нескольких слов. В нем также будет храниться длина нового термина и его тип (категория, к которой термин будет отнесен на этапе категоризации).

7. Теперь просматриваются пары (тройки) слов, уже являющиеся односложными терминами, и в случае, если они стоят друг за другом (последовательные номера в абзаце) и одном абзаце (совпадают номера абзаца), данная пара (тройка) слов считается термином, она добавляется в список, *NT*.

Автоматическая классификация терминов

Для осуществления категоризации терминов применяется технология нейронной сети, а именно, видоизмененный персептрон Розенблатта, нейронная сеть, созданная на основе математического нейрона МакКаллокка-Питтса[3]. Через входы, число которых обозначим *j*, математический нейрон принимает *входные сигналы* x_j, которые нейрон суммирует, умножая каждый входной сигнал на некоторый *весовой коэффициент* w_j:

$S = \sum_{j+1}^{J} w_j x_j$, где *S* - взвешенная сумма входных сигналов x_1 - x_j.

Математический нейрон формирует выходной сигнал *y* согласно следующему правилу:

$y = \begin{cases} 1, если\ S > \theta \\ 0, если\ S < \theta \end{cases}$, где Θ — *порог чувствительности нейрона* [4].

Таким образом, математический нейрон может существовать в двух состояниях. Представленная пороговая функция*y*, нуждается в доработке, так как заданные поля для категоризации терминов не могут быть представлены в виде монотонно возрастающей последовательности значений. Поэтому пороговые функции математических нейронов были заменены на сигмоиду и функцию выбора максимума. В этом состоит основное видоизменение персептрона Розенблатта.

При категоризации терминов, состоящих из двух и трех слов, в качестве входных данных выступают идентификаторы полей и весовые коэффициенты соответствующих полей. Каждая основа слова из базы ИС «Семограф» уже отнесена к определенному полю (методом ручной категоризации), изначальный весовой коэффициент каждого поля равен 0. На основании этих данных нейронная сеть определяет поле и передает на выход его идентификатор.

Для категоризации двухсловных терминов используется сеть из одного слоя, который получает весовые коэффициенты каждого слова словосочетания (весовые коэффициенты соответствуют полям), и использует сигмоиду*SG* в качестве функции возбуждения. Нейрон переходит в возбужденное состояние при одновременном выполнении следующих условий:

$$\begin{cases} \mathrm{W1} \geq \mathrm{W2} \\ \dfrac{1}{e^{-(w1+w2)}+1} > \dfrac{1}{2} \end{cases}$$

В этом случае термин получает номер поля первого слова, иначе – второго.

Для категоризации трехсловных терминов используется двухслойная сеть, на вход первому слою подаются те же данные, что и для двухсложного, первый слой по такому же алгоритму определяет номера полей для пар слов {1,2},{1,3},{2,3}. После этого подключается второй слой нейросети, получающий на вход результаты категоризации вышеназванных пар. Функцией возбуждения будет функция выбора максимума *M*. Ей на вход подаются поля, определенные для трех пар, определяется вес каждого из полей, поле с максимальным весом передается как выходные данные, это поле становится полем всего термина.

Алгоритм автоматической категоризации терминов (работает совместно с п. 7-8 алгоритма идентификации терминов):

1. При добавлении терминов, состоящих из двух слов, в список *NT* (п.7 алгоритма идентификации), запускается определение типа сложного термина с помощью нейронной сети. Она работает следующим образом: в нейронную сеть передаются типы двух исходных терминов, сравниваются весовые коэффициенты синапсов для каждого из слов пары, эти весовые коэффициенты для каждой пары типов хранятся в базе данных. Типом словосочетания из двух слов признается тип того термина, весовой коэффициент которого больше. Этот тип записывается в качестве типа конечного термина.

2. При добавлении терминов, состоящих из трех слов, в список *NT* (п.7 алгоритма идентификации), попарно запускается алгоритм, описанный в п. 1, для каждой пары слов из тройки ({1,2};{1,3};{2,3}). После, нейрон второго слоя выбирает поле с максимальным весом, его тип и присваивается всему термину.

При обучении нейронной сети применяется метод поощрения/наказания: сравнивается результат системы и результат, полученный от пользователя, если совпали – изменений не производится, иначе – верное поле получает увеличение веса, а неверное – уменьшение (±0,5). Апробация программного комплекса была проведена на текстовых данных, принадлежащих предметной области «Компьютерная вирусология».

Заключение

Программный комплекс TSBuilder помогает организовать процесс машинного обучения с заданными классами, то есть интеллектуальный анализ текста выполняется на основе контрольного образца, представляющего собой коллекцию категоризированных элементов (терминов). Термин может быть представлен отдельным словом или конструкцией, включающей одно или несколько слов или символов. Каждому элементу коллекции присвоена категория. Работа программы заключается в идентификации и категоризации уже известных или новых терминов, в состав которых входят леммы (основы, неизменные части)

терминов, включенных в коллекцию. Программа определяет одно-, двух- и трехсловные термины.

Библиографический список

1. *Исаева Е.В., Мишланова С.Л.* Метафорическое моделирование разных типов знания в дискурсе компьютерной безопасности: монография / Е.В. Исаева, С.Л. Мишланова; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2014. – 171 с.: ил. ISBN 978-5-7944-2447-8
2. *M. W. Berry.* Survey of Text Mining I: Clustering, Classification, and Retrieval — Springer, 2003. — 261 p. — ISBN 0387955631.
3. *Ясницкий Л.Н.*Введениевискусственныйинтеллект. Учеб. пособие для ВУЗов. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. –176 с.
4. *Исаева Е. В., Суворова В. А., Бахтин В. В*. Английский язык (профессиональный): моделирование тезауруса с помощью программы идентификации терминов TSBuilder [Электроннъй ресурс]: учеб.-метод. пособие, 2015. – 685 Кб.

ELEMENTS OF MACHINE LEARNING IN LINGUISTICS: DEVELOPMENT OF TEXTMINING ALGORITHMS

Bakhin Vadim V., Isaeva Ekaterina V., Suvorova Valeria A.

Perm State University, st. Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990, bakhtin94@bk.ru, ekaterinaisae@gmail.com, valery.suvorova@yandex.ru

The article is concerned with the development of the software, registered as TSBuilder, for the automation of term system modeling. The software identifies one, two and three word terms, whose stems are found in the term database in the Information system 'Semograph'. Every identified term is referred to one of the categories (fields). For this purpose a neuronet technology (a modified Rosenblatt peceptron) is used. The user is able to change an automatically defined category. The changes are used for teaching the artificial intellect. The developed software can be employed for the development of dictionaries and thesauri, as well as text clastering programs.

Key words: Text mining, neuronet modeling, term system modeling, automated term identification, automated terms categorization.

УДК 004.912

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ПОРТАЛ ДЛЯ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ СТИЛЯ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

Шучалова Юлия Сергеевна, Ланин Вячеслав Владимирович

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

Необходимость соблюдения норм академического стиля при создании научных публикаций на английском языке – актуальная проблема для многих авторов, не являющихся носителями языка. Рекомендации для улучшения академического письма чаще всего носят теоретический характер, но существует возможность исследовать особенности их применения на практике с помощью анализа текстовых корпусов. В данной работе предложена концепция и функциональные требования для Интернет-портала, предоставляющего доступ к сервису анализа и оценки стиля научных публикаций. Портал предназначен для нескольких категорий пользователей и позволит проводить исследования с использованием различных корпусов и наборов лингвистических данных, а также просто получать оценку характеристик загружаемой работы относительно других статей по данной тематике и соответствующие рекомендации. На текущий момент исследовательский прототип портала находится в стадии реализации.

Ключевые слова: академический стиль английского языка, стилистический анализ, корпусная лингвистика, оценка качества публикаций

Качественный перевод статьи на английский язык – одна из задач, с которой сталкиваются многие авторы научных публикаций, не являющиеся носителями этого языка. Особую трудность представляет соблюдение норм академического стиля, необходимое для грамотного представления результатов своей работы в научном сообществе. Учебные материалы по академическому письму (EnglishforAcademicPurposes) в основном направлены на изучение часто встречающихся фраз и основных теоретических приёмов академизации текста, но, как правило, не уточняют частоту и интенсивность их использования на практике. Таким образом, для полноценного развития навыка необходимо выполнение большого количества практических заданий под контролем эксперта, что не всегда возможно в условиях ограниченного времени и трудозатрат.

В работе [1] представлен метод оценки качества стиля научной статьи, основанный на её сравнении с корпусом (коллекцией текстов), состоящим из «эталонных» статей по подобной тематике, т.е. прошедших профессиональное рецензирование. Сравнение проводится на основе маркеров стиля – слов, выражений, конструкций, характерных для научных текстов. Примеры критериев академического стиля: использование терминологии,

© Шучалова Ю.С., Ланин В.В., 2016 г.

глаголы в пассивном залоге, существительные с абстрактными суффиксами. Всего экспертом было выделено более 15 признаков научного текста.

Статистика, полученная в результате разметки корпуса в соответствии с маркерами стиля, позволит сделать вывод о встречаемости тех или иных критериев «академичности» текста и их значимости при оценке стиля. Эти данные в дальнейшем позволят определять уровень качества научной публикации с точки зрения стиля и формировать рекомендации по его улучшению.

Для решения задач компьютерной лингвистики существуют программные средства универсального характера, такие как продукты семейств GATE и Ant, а также создаются специализированные программы, например, система Fapas (Full Automatic Paper Analysis System) для анализа стиля академических текстов, описанная в работе [2]. Для реализации метода, который является базовым для создаваемого портала, адаптируется универсальная система GATE. На данный момент в разработке находится исследовательский прототип приложения на базе среды GATEDeveloperи библиотек GATEEmbedded[3], предназначенных для работы с текстовыми корпусами. Прототип предоставит возможность начать исследование статей и корпусов, определить значимость различных критериев академического стиля и делать на основе этих данных предположение о качестве текста. После реализации прототипа планируется создать web-портал с расширенным функционалом.

Формат портала предназначен увеличить спектр пользователей, которые смогут пользоваться программой. GATEDeveloper– удобная среда для программистов и лингвистов, однако работа в ней требует определённых знаний о среде в целом и структуре приложения в частности. В web-портале технические особенности будут скрыты от обычного пользователя.

Предполагается несколько основных сценариев использования услуг сервиса:

1. Режим «Исследование»: пользователь загружает или выбирает корпус или документ, создаёт или редактирует необходимый набор маркеров академического стиля, запускает сервис и получает размеченный корпус или документ, а также отчёт о его статистических характеристиках. Этот режим предназначен для лингвистов, филологов, преподавателей академического письма.
2. Режим «Проверка»: пользователь загружает документ, выбирает наиболее подходящий по тематике корпус и получает отчёт по результатам сравнения характеристик документа с корпусом, оценку качества стиля и рекомендации по улучшению. Режим, предназначенный для авторов научных публикаций, студентов.

Таким образом, к базовым функциям портала относятся загрузка и хранение корпусов и отдельных документов, их разметка по маркерам стиля, создание аналитических отчётов,

оценка и вывод рекомендаций по отдельным работам. Кроме базового сервиса, составляющего ядро портала, планируется реализация дополнительных компонентов – хранилища данных и визуального редактора лексико-синтаксических шаблонов, которые используются для создания разметки по маркерам стиля. Социальная часть портала включает в себя возможность совместной работы, размещение обучающих материалов, организацию форума для пользователей портала. Примерная архитектура портала представлена на рис. 1.

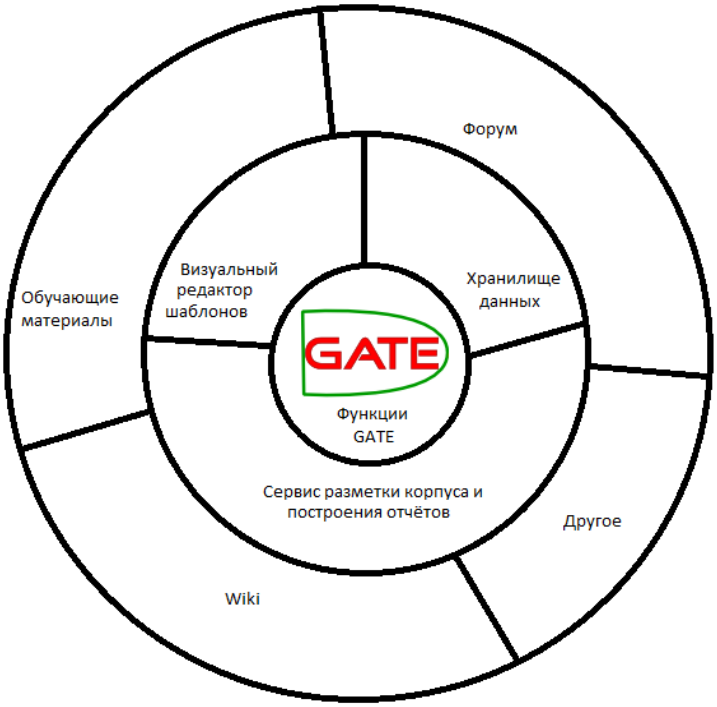


Рис. 12. Архитектура портала

Внедрение таких компонентов как хранилище данных и визуальный редактор шаблонов и расширение функционала базового сервиса относительно исследовательского прототипа необходимо для поддержания одного из главных свойств реализуемого метода анализа стиля – гибкости. Обеспечить гибкость метода можно в следующих аспектах:

- использование корпусов по различным тематикам, от разных издателей;
- изменение набора искомых маркеров стиля и изменение их базовых лингвистических ресурсов;
- добавление пользовательских типов разметки текста для выделения новых маркеров стиля;
- использование различных метрик для сравнения документов и корпусов;
- выделение различной статистики (относительно документа, относительно корпуса; в разрезе слов, в разрезе предложений; и т.д.);

Необходимо также перенести на портал одну из удобных возможностей среды GATE– ручное редактирование разметки. Таким образом, продвинутые пользователи смогут

загружать собственные корпуса текстов (и хранить их, например, в специальном облаке), исследовать их и получать индивидуальные настраиваемые отчёты.

Визуальный редактор лексико-синтаксических шаблонов [4] позволит изменять параметры разметки текста и добавлять новые маркеры стиля. Кроме того, в перспективе возможно реализовать нанесение пользовательской разметки с помощью кода на языке Java, например, в виде механизма плагинов, как в среде GATEDeveloper.

Стоит отметить, что концепция реализуемого в рамках портала метода достаточно универсальна, и в теории он может быть применён и для других языков и стилей при наличии размеченных корпусов (в первом случае) и разработанных лексико-синтаксических шаблонов для выделения нужных маркеров стиля. В любом случае, успешная реализация даже части вышеописанных функций позволит представить пользователям сервис, благодаря которому авторы научных публикаций и студенты получат возможность проверить свои работы перед отправкой на рецензирование, а филологи, лингвисты и преподаватели английского языка смогут проводить исследования, делиться их результатами с коллегами, а также внедрять данный сервис в учебный процесс.

Библиографическийсписок

1. *Lanin V., Strinyuk S., Shuchalova Y.* Academic Papers Evaluation Software // 2015 9th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT), Conference Proceedings. IEEE, 2015, Rostov-on-Don, Russia, October 14-16, 2015, –С. 506-510.
2. *Scholz T., Conrad S.*Style Analysis of Academic Writing // Natural Language Processing and Information Systems: 16th International Conference on Applications of Natural Language to Information Systems, Proceedings. NLDB 2011, Alicante, Spain, June 28-30, 2011. – С. 246-249.
3. GATE.ac.uk [Офиц. сайт] // URL: http://gate.ac.uk/ (датаобращения: 31.03.2016).
4. *Ланин В.В., Шучалова Ю.С.* Визуальный предметно-ориентированный язык описания лексико-семантических шаблонов // «Информатизация и связь» №1, 2016г.–С.44-48

RESEARCH PORTAL FOR ACADEMIC PAPER ANALYSIS AND EVALUATION

Shuchalova Y., Lanin V.

National Research University Higher School of Economics, st. Studencheskaya, 38, Perm, 614070, shuchalova@gmail.com

The problem of mastering the academic style of English language is relevant to many non-English speaking authors. Recommendations on style improvement are often of a theoretical nature, but there is a possibility to research their implementations using text corpora. This paper presents a concept and functional requirements for a Web-portal, which provides services of academic style analysis and evaluation. The portal is suitable for various types of users and will give them the opportunity to perform research using different corpora and linguistic data as well as get a simple summary of the document's characteristics compared with other papers on relevant topics and recommendations on style improvement. To this day the research prototype of the portal is in development.

Keywords: English for Academic Purposes, style analysis, corpus linguistics, academic paper evaluation

УДК 004.9+93

ВОЗМОЖНОСТИ РЕСУРСА «ИОИС» ДЛЯ АНАЛИЗА ИСТОЧНИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СИСТЕМ[1]

Ященко Юлия Владимировна, Ященко Анатолий Владимирович

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

В статье рассмотрено состояние историко-ориентированных информационным систем в целом, а также проект, реализованныйв Пермском государственном университете. Представлены поисково-аналитические возможности информационной системы «Историко-ориентированные информационные системы». На основе запросов к системе были проанализированы источнико-ориентированные системы, их географическое распределение, хронологические рамки, полнота данных и т.д. Выявлены основные принципы организации историко-ориентированных информационных систем, рассмотрены наиболее распространенные типы исторических источников. Выделены тенденции развития источнико-ориентированных систем. Проанализировано более 200 отечественных и зарубежных источнико-ориентированных систем.

Ключевые слова: историческая информатика, информационные системы, исторические источники, история, методология истории.

Сегодня одним изтрендов в информатизации исторической науки являются историко-ориентированные информационные системы (ИОИС) [1]. Существует огромный пласт как профессиональных, так и любительских ресурсов, созданных с разными целями и структурами; множество образовательных сайтов, профессиональных исторических ресурсов, web-энциклопедий и т.д. Большое количество и разнообразие систем делает актуальной задачу каталогизации ресурсов, что и было реализовано в системе «ИОИС», в ходе разработки которой были проанализированы проблемы их создания, организации данных и репрезентации контента. Это позволило выделить основные тенденции ИОИС и провести работу по их классификации.

Большое количество любительских исторических ресурсов создало проблему достоверности исторического знания в интернете. Наличие некачественных (в содержательном смысле) систем, заставляет критически относиться к ним. Возникает необходимость в создании электронных каталогов историко-ориентированных систем, контент которых отражает историческую действительность.

В 2013-2015 годах в лаборатории исторической и политической информатики ПГНИУ была разработана информационная система «Историко-ориентированные информационные

[1] Историко-ориентированные информационные системы

© Ященко Ю.В., Ященко А.В., 2016 г.

системы»[1] – электронный каталог, представляющий ресурсы различного формата, содержащие историко-ориентированный контент (http://digitalhistory.ru/). Такие ресурсы подразделяются на несколько типов, исходя из подходов, которые применялись при их создании (источнико-ориентированные, проблемно-ориентированные и др.) [1]. На сегодняшний день портал содержит более 800 историко-ориентированных систем, которые могут быть актуальны при осуществлении научно-исследовательских работ. На нём представлены ресурсы, содержащие информацию о разных сферах истории и исторических источники. Ресурс содержит несколько разделов, один из которых – «Публикации», где представлено более 500 статей, посвященных проблематике историко-ориентированных систем. «ИОИС» является не только хранилищем исторической информации, но и серьезной базой для исторических исследований. В первую очередь такую возможность предоставляет поисково-аналитических инструментарий. Данная работа имеет целью демонстрацию таковых возможностей на примере использования аналитического опциона системы для реализации источниковедческого исследования.

Интерфейс расширенного поиска «ИОИС» позволяет отбирать ресурсы по разным параметрам, в том числе, позволяя использовать необходимое количество параметров (то есть для составления запроса может быть использован один параметр, несколько или все) при составлении запросов. Они образуют некоторые тематические подгруппы, например, такие параметры как «bighistory», «средневековая», «новая» входят в блок «Период».

Одним из полезных свойств «ИОИС» являетсяметаописание ресурсов, отображение на страницах ресурсов краткой информации, такой как название организаций, авторы, ключевые слова и прочего,привязанной к системам и публикациям [2]. Это позволяет не только изучить систему, но и проанализировать отзывы и описание в статьях. Особо важно это для систем локального характера, которые не представлены в сети Интернет или имеют ограниченный доступ. В таком случае привязка ресурса к публикации о нем является важным моментом и упрощает получение информации.

Запросы позволяют выделить ресурсы по области знания, историческому периоду, области истории, географии (какие страны охватывает система), типу системы, типу источников, подходу, технологиям создания и т.д.

На основе инструментария ИОИС были проанализированы источнико-ориентированные системы [1]. Эти системы являются важной частью всей историко-ориентированной web-среды, что доказывает полученная статистика. Более 30% всех историко-ориентированных систем – источнико-ориентированные. Из них около половины –

отечественные ресурсы. Серьезную долю составляют системы, созданные в США, содержащие большой массив исторических источников [3].

При анализе содержания ресурсов особое место занимает параметр «область истории», при использовании которого появляется возможность отобрать только те ресурсы, которые соответствуют тому или иному аспекту исторического знания. Наиболее часто встречаются ресурсы, посвященные социально-экономической истории (около 40% от всех введенных ресурсов), большое количество ресурсов ориентированы на политическую и культурную историю (политическая – 25%, культурная – 37%). Что касается периодизации истории, то 67% всех ресурсов посвящены периоду новой и новейшей истории. Популярность новой и новейшей истории связана с большими возможностями при создании системы – доступностью исторических источников, возможностью предоставления более глубокой информации по выбранному периоду за счет предоставления оригиналов источников.

По условиям поиска параметра «география» были получены следующие результаты: 20% ресурсов посвящены истории России; 30% - стран западной Европы, 26% - Северной Америки, остальные 24% распределяются между еще 7 условиями отбора. Это связанос тем, что большая часть источнико-ориентированных систем создается за рубежом, в частности, в США, странах Западной Европы, так как там в таких системах заинтересованы учреждения хранения, университеты, политические и общественные организации [2]. Параметр «технологии создания» содержит такие условия отбора как «СУБД», «языки разметки» и некоторые другие. Основной объем ресурсов создан на основе разметки. В историко-ориентированных системах, как правило, достаточно большие объемы информации и вопрос полнотекстовой индексации имеет большое значение при работе с такими ресурсами.

В зависимости от типов исторической информации и исторических источников варьируются подходы к созданию историко-ориентированных систем. Выделяются следующие условия отбора параметра «тип источника»: статистические, вещественные, письменные, изобразительные, аудио, видео, мультимедиа, картографические, смешанные, другие. Из них наиболее часто встречающийся тип источника – письменный (составляет почти 78% от всех источников, встречающихся в рамках введенных в систему ресурсов). Второе место занимают изобразительные источники и далее статистические. Нередко в системах с таким подходом представлены несколько типов источников одновременно, как правило это сочетание текстовых и изобразительных источников. Более 38% источнико-ориентированных систем посвящены социально-экономической истории, но лишь в 14% таких ресурсов представлены статистические источники.

Если рассматривать источнико-ориентированные ресурсы, то использование поисково-аналитических возможностей «ИОИС» наиболее интересным представляется выяснение количественного соотношения типов источников. Таким образом, на примере первичного анализа источнико-ориентированных систем было наглядно продемонстрировано, что эта система выступает не только в качестве электронного каталога, но и действительно инструмента и базы для проведения источниковедческих исследований.

Библиографический список

1. *Корниенко С.И., Кирьянов И.К., Гагарина Д.А. Власова О.В.* Историко-ориентированные информационные системы: понятие, классификация и описание // Сборники Президентской библиотеки. Серия «Электронная библиотека» / науч. ред. Е.Д. Жабко. Вып. 5: Направления развития цифрового библиотечного, музейного и архивного контента в современной информационной среде. – СПб.: Президентская библиотека, 2014. – С. 96-112
2. *Негуляев Е.А.*Универсальные схемы метаданных и задача описания веб-ресурсов//Библиосфера.№ 1 / 2006.
3. *Поврозник Н.Г.* Создание современных историко-ориентированных информационных систем в Соединенных Штатах Америки // Вестник Пермского университета. Серия "История". 2014. № 3(26). С. 67-75.

OPTIONS OF THE RESOURCE "HOIS" FOR ANALYZE OF THE HISTORICAL SOURCE-ORIENTED INFORMATION SYSTEMS

YaschenkoYuliya V., Yaschenko Anatoliy V.

PermStateUniversity, st.Bukireva, 15, Perm,Russia, 614990, yaschenko.j@mail.ru

In the thesis the state historical-oriented information systems are examined in general, as well as a project in the Perm State University. Presents the search and analytical capabilities of the information system "History-oriented information systems." Based on the requests to the system source-oriented systems were analyzed, their geographical distribution, the chronological framework, the completeness of data, etc. Identified the main principles of the organization historical-oriented information systems are discussed the most common types of historical sources. Determine the ratio of countries engaged in the creation of historical-oriented systems. Leading countries in the sphere of informatization of historical science are allocated. Development trend of sources-oriented systems are allocated. More than 200 domestic and foreign sources-oriented systems, introduced in the information system «HOIS» were analyzed.

Key words: historical and information science, Information Systems, historical sources, history, methodology of history.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ

УДК 514

ПОСТРОЕНИЕ ЗАМЕЧАТЕЛЬНЫХ КРИВЫХ В ПРОГРАММЕ ЖИВАЯ ГЕОМЕТРИЯ

Афанасьева Ульяна Владимировна, Шеремет Галина Геннадьевна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 614000, Россия, г. Пермь, ул. Пушкина, 42, ulya-a@bk.ru

В данной статье рассматривается построение кривых второго порядка в программе «Живая геометрия». При этом построение осуществляется не только в Евклидовой геометрии, но и в проективной. Изображения линий 2-го порядка в Евклидовой геометрии опираются на свойства и являются основой для построения тел вращения. Так на основе свойств эллипса нам удалось построить конус и цилиндр. В проективной геометрии замечательные кривые строятся с помощью теоремы Паскаля и Брианшона. С помощью данных теорем, нам удалось продемонстрировать решения некоторых конструктивных задач. При изображении линий 2-го порядкаво всех случаях можно использовать две команды Живой геометрии: «Геометрическое место точек» и «След точки».

Ключевые слова: «Живая геометрия», теорема Паскаля, теорема Брианшона, кривая 2-го порядка.

Изображение линий второго порядка важно, так как они встречаются не только в математике, но и в физике, астрономии и других науках. Так в физике по гиперболе движутся альфа - частицы в опыте Резерфорда при рассеивании их ядром атома, по параболе - тело в однородном поле силы тяжести, брошенное под углом к горизонту. В астрономии же по эллипсам движутся планеты вокруг Солнца. В технике для устройства разнообразных прожекторов и антенн используются так называемые «параболические зеркала». На евклидовой модели плоскости Минковского (Галилея) гипербола (парабола) играют роль окружности (цикла).

Однако изображение линий второго порядка часто вызывают определённые сложности не только у простых обывателей, но и у студентов технических и математических специальностей. В этом случае на помощь приходят ИКТ. Они по новому позволяют подойти к изображению этих линий. На сегодняшний день спектр этих программ неисчерпаем: «CosinorEllipse 2006», «Компас-3D», «Живая геометрия» и т.д. В педагогических целях наиболее приемлемо использовать программу «Живая геометрия».

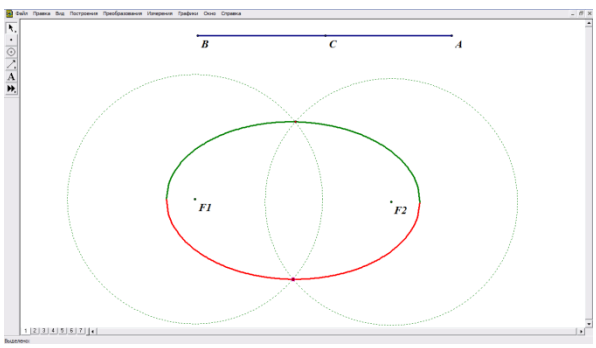
Geometer's SketchPad (Живая геометрия) - это набор инструментов для построения чертежей и их исследования. Эта программа дает возможность “открывать” и проверять геометрические факты. Так на уроках математики мы можем с лёгкостью

© Афанасьева У.В., Шеремет Г.Г., 2016 г.

продемонстрировать построение различных чертежей, доказать или опровергнут различные гипотезы. С методической точки зрения программа позволяет ученикам, не имеющим пространственное мышление с легкостью понять и решать задачи по геометрии.

1. Если рассматривать евклидовы свойства этих линий, то их применение позволяет наглядно иллюстрировать различные определения эллипса, параболы и гиперболы, исследовать их свойства. При этом подходе эллипс можно задавать

- фокусами и отрезком, равным сумме расстояний от фокусов до точки эллипса рис.1,
- окружностью и коэффициентом сжатия рис. 2, и т. д.



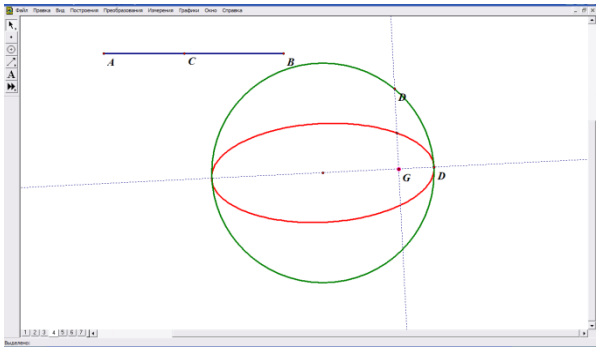
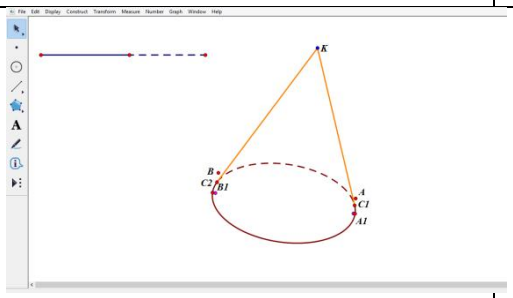
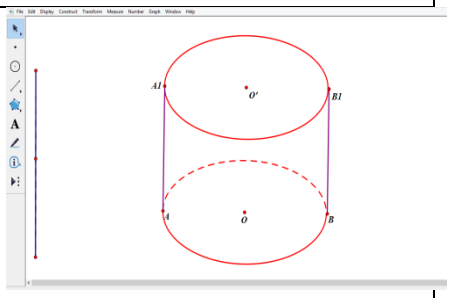


Рис. 13 Рис. 14

Эти построения можно в дальнейшем использовать при изображении тел вращения(табл. 1).

Таблица 5. Применение свойств при построении тел вращения

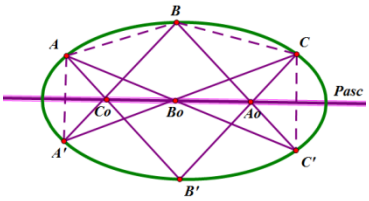
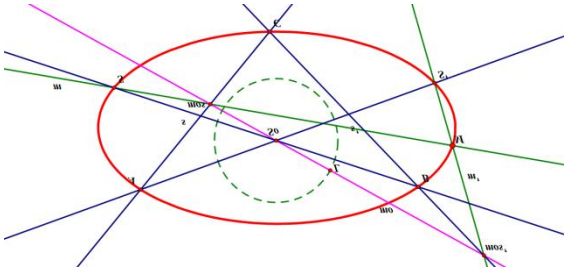
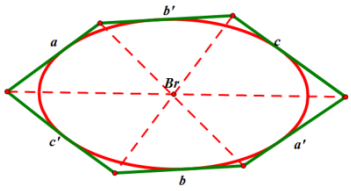
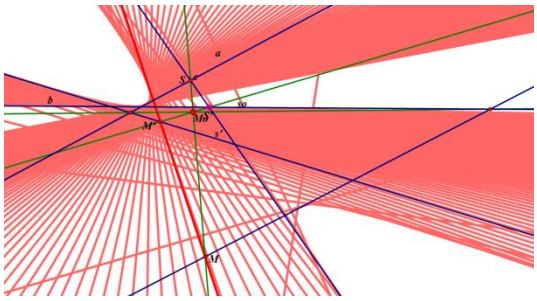
Постр оение	***Конус***	***Цилиндр***
Метод построения	с помощью сжатой окружности	по определению
		

На основе геометрических фактов нам удалость построить линию второго порядка – эллипс, и тела вращения. Данный материал полезен при изучении геометрии в 10-11 классах.

2. В проективной геометрии *кривой 2-го порядка* называется геометрическое место точек пересечения соответственных прямых двух проективных пучков (центры которых различны)

[1, с. 148]. Теорема Паскаля [1, с.155], теорема Брианшона [1, с.156] , и их предельные случаи для пятиугольника, четырёхугольника, треугольника, вписанных в кривую 2-го порядка, и двойственных фигур описанных около кривой 2-го класса, позволяют построить изображение линии, заданных пятью точками, четырьмя точками и касательной в одной из них и т. д. [1, с.157]. На основе теоремы Паскаля и Брианшона можно наглядно решать различные конструктивные задачи (табл. 2)

Таблица 6

Теорема	Задача
Теорема Паскаля. Если шестиугольник вписан в кривую 2-го порядка, то три точки пересечения его противоположных сторон лежат на одной прямой рис. 3 [1, с.155].  ***Рис. 3***	Даны пять точек кривой 2-го порядка. Построить ещё несколько её точек.Одно из решений рис. 4.  ***Рис. 4***
Теорема Брианшона. Если шестиугольник описан около кривой 2-го класса, то три прямые, соединяющие его противоположные вершины, пересекаются в одной точке рис. 5 [1, с.156].  ***Рис. 5***	Даны пять касательных кривой 2-го класса. Построить ещё несколько её касательных. Одно из решений рис. 6.  ***Рис. 6***

При построении линий второго порядка во всех случаях можно использовать две команды Живой геометрии: «Геометрическое место точек» и «След точки». Первая из них позволяет получить изображение линии, которое удобно использовать как основу для дальнейшей работы с изображением. Вторую команду удобнее использовать в сочетании с командой «Анимация» для иллюстрации действия того или иного определения.

В данном случае, с точки зрения методики, программа позволяет не только начертить линии второго порядка в проективной геометрии, но и продемонстрировать решение конструктивной задачи. А это в свою очередь позволяет тратить намного меньше времени на построение, выполнять чертежи намного точнее и прослеживать динамику изменений линий.

Вывод: Таким образом, программа «Живая геометрия» является одним из удобных средств ИКТ в деятельности учителя математики. Так как функционал данной программы позволяет работать как с евклидовыми, так и проективными свойствами линий второго порядка, и использовать полученные результаты в дальнейших построениях.

Библиографический список

1. *Комиссарук. А. М*. Проективная геометрия в задачах: Учеб. пособие для мат. фак. пед. ин-тов. / Комиссарук А.М.–Мн.: Вышэйш. Школа, 1971 – 320 с. : ил.

THE CONSTRUCTION OF THE WONDERFUL CURVES IN THE PROGRAM LIVE GEOMETRY

Afanasyeva Ulyana Vladimirovna, Sheremet Galina Gennadyevna

Perm State Humanitarian Pedagogical University, Russia, 614000, Perm city, Pushkina St., 42, ulya-a@bk.ru

This article considers the construction of curves of the second order in the "Live geometry". The construction is carried out not only in Euclidean geometry, but in projective. Image lines of the 2nd order in Euclidean geometry based on the properties and are the basis for the building of bodies of revolution. So based on the properties of the ellipse, we have managed to build a cone and cylinder. In projective geometry wonderful curves are constructed using the theorems of Pascal and Brianchon. Using these theorems, we were able to demonstrate solutions to some design problems. When the image lines of the 2nd order in all cases, you can use two teams Living geometry: "thelocus" and "Trace point".

Keywords: "Living geometry", theorem Pascal's theorem Brianchon, curve 2-th order.

УДК 004.93

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ВИЗУАЛЬНОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЦЕСА СБОРКИ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ[1]

Баданина Дарья Яковлевна, Чуприна Светлана Игоревна

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

В данной статье описан подход к разработке приложений на базе технологий дополненной реальности и методов онтологического инжиниринга для реализации визуального сопровождения процесса сборки технических устройств на примере авторской системы OntoAR.Приложение ориентировано на рабочих сборочных производств промышленных и оборонных предприятий и призвано ускорить процесс обучение нового персонала, а также повысить качество сборки за счет автоматизированного контроля. Демонстрируется как технологии компьютерного зрения, а также подходы на базе систем автоматизированного проектирования (САПР), помогают в решении гуманитарных и технических задач обучения. Рассматриваются основные задачи разрабатываемых инструментальных средств и роль онтологий в представлении экспертного знания о процессе сборки.

Ключевые слова: интерактивная мультимедийная инструкция, сборка технических изделий, дополненная реальность, компьютерное зрение, онтологический инжиниринг.

Описываемые в данной статье методы и технологии использовались при разработке демонстрационного прототипа приложения, предоставляющего интерактивную мультимедийную инструкцию по сборке технических изделий, которая предназначена для визуального сопровождения процесса сборки с помощью технологий дополненной реальности(augmentedreality – AR).В качестве аппаратного обеспечения для разработанного демонстрационного прототипа приложения *OntoAR*, используются бинокулярные видеоочки Epson Moverio bt-200 под управлением операционной системы Android 4.0.4.

Аналитические отчеты и прогнозы о рынке дополненной реальности в России и за рубежом уверенно свидетельствуют, что сфера успешного применения AR-технологий все время активно расширяется за счёт своей универсальности и позволяет открывать новые направления человеко-машинного взаимодействия. По оценкам экспертов в России пик промышленного применения AR-технологий придется на 2016-2017 г., а в Европе и США они уже активно применяются в промышленности, медицине и образовании [1]. Говоря об аппаратных средствах, которые обеспечивают технологические возможности создания дополненной реальности, наиболее популярным сегментом является сегмент мобильных

[1] Публикация подготовлена при финансовой поддержке государственного Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (грант за победу в XI студенческом региональном конкурсе научных проектов по программе УМНИК Весна 2015).
© Баданина Д.Я., Чуприна С.И., 2016 г.

устройств: смартфоны, планшеты, видеоочки. Однако стремление сделать мобильное устройство наиболее компактным зачастую приводит к снижению вычислительной мощности, что на сегодняшний день является узким местом для систем дополненной реальности, так как решение задач распознавания образов и реконструкции 3D-сцены требуют реализации сложных алгоритмов. Наиболее распространенными по типу предоставляемого цифрового контента являются визуальные системы дополненной реальности. Для внесения визуального контента в реальный мир в режиме реального времени применяются разнообразные подходы и методы анализа изображений из области компьютерного зрения,также широко используются последние достижения в области мобильных приложений и анализа больших данных (подробнее см. [2]).На сегодняшний день существуют AR-библиотеки, которые предоставляют реализацию алгоритмов компьютерного зрения, необходимых для построения дополненной реальности, например, Vuforia[2] ARToolkit[3] , WikiTude[4] , LayAR[5] .

Хотя рекламная сфера, маркетинг, игры и туризм рассматриваются как основные области адаптации технологий дополненной реальности, внедрение AR-решений в производственный процесс является также актуальной тенденцией и уже сейчас имеются предприятия, использующие AR-ассистента как для сопровождения процесса сборки технических агрегатов, так и для обучения нового персонала [3]. Например, на заводе Lockheed Martin, производящем истребители F-35, внедрено подобное решение от компании NGRAIN (Ванкувер, Канада) [4].Сотрудники NGRAIN утверждают, что набор из очков и их программного обеспечения позволяет инженерам работать на 30% быстрее с точностью сборки порядка 96%. Кроме того, если ранее хорошо подготовленный к сборке сложных агрегатовсотрудник должен был иметь большой опыт работы, либо постоянную помощь более квалифицированного персонала, то теперь решение от NGRAIN помогает инженерам в повышении их квалификации и позволяет молодым специалистам осуществлять сборку самостоятельно без постоянного контроля со стороны профессионалов.

Узким местом при разработке AR-ассистентов является необходимость зачастую неавтоматизированной адаптации системы под специфику собираемого изделия и последовательность сборочных операций, что влечет за собой дополнительныезатраты.Разрабатываемая нами система OntoAR призвана нивелировать указанный недостаток за счет использования методов онтологического инжиниринга. В

[2]https://developer.vuforia.com/

[3]http://artoolkit.org/

[4]http://www.wikitude.com/

[5]https://www.layar.com/

доступной литературе отсутствуют сведения об использовании указанных методов при решении аналогичных проблем.

OntoAR является интеллектуальным помощником и носит характер обучающей системы. Ее основное ее предназначение –ускорить процесс обучение нового персонала сборочных производств оборонно-промышленных предприятий. Кроме того, разработка поможет повысить качество сборки технических изделий за счет автоматизированного контроля процесса сборки. Работа носит междисциплинарный характер и демонстрирует интеграцию подходов и методов из различных областей науки: технологий дополненной реальности, методов онтологического инжиниринга, подходов, использующихся в системах автоматического проектирования технических изделий (computer-aided design –CAD), – для целей гуманитарного характера, связанных с оптимизацией трудовой деятельности человека и ускорением процесса профессионального обучения.

Для того чтобы система осуществляла визуальное сопровождение процесса сборки в соответствии с формальной инструкцией по сборке и при этом фиксировала ошибки, необходимо, чтобы она могла решать следующие задачи:

1. **Контроль хода сборки** (проверка правильности выполнения текущего этапа сборки с целью перехода к визуализации следующего этапа).
2. **Визуализация этапов сборки** (рендеринг в определенном месте изображения виртуального 3D-контента мультимедийной инструкции по сборке изделия).
3. **Управление визуализацией процесса сборки** (определениеи переход к выполнению следующего этапа сборки путем предоставления соответствующего виртуального контента: 3D-моделей, анимации, текста).

Для решения перечисленных задач в *OntoAR* используются технологии дополненной реальности и методы онтологического инжиниринга. Первая и вторая задачи решаются на этапах процесса дополнения изображения сборочной конструкции виртуальным контентом, необходимым на текущем шаге сборки. Для реализации каждого из этапов процесса создания дополненной реальности используются методы компьютерного зрения. На этапе *восстановления изображения*, который является подготовительным; улучшается качество входного изображения путем фильтрации шумов (подробнее методы фильтрации шумовсм., например, в [5]). На этапе *распознавания изображений* выполняется автоматический анализ изображения с целью поиска некоторого маркера – целевого объекта, который нам необходимо увидеть, например, сборочной конструкции на конкретном этапе сборки, для дальнейшего наложения на изображение необходимого контента и контроля хода сборки.

За последнее десятилетие была создана большая теоретическая база в сфере обработки изображений и технологий поиска различных объектов на изображениях. Прежде всего, это касается методов контурного анализа, template matching (методы, основанные на сопоставлении шаблонов), feature detection (методы, основанные на обнаружении некоторых особенностей изображения) и генетических алгоритмов. Теоретические подходы к решению задач дополненной реальности широко освещены в [6-8].

На практике чаще всего используются алгоритмы, которые выполняют поиск и сравнение изображений по особым (ключевым) точкам, так, например, платформа дополненной реальности Vuforia[9] использует метод поиска особых точек для распознавания плоских маркеров и объемных объектов. Благодаря своей эффективности и быстродействию в последнее время все более популярным становитсяалгоритм поиска особых точек SURF (Speed Up Robuts Features)[6].

Надо сказать, что наиболее сложной задачей является поиск на изображении монотонного неконтрастного объекта, на котором мало особых точек, к таковым как раз чаще всего и относятся детали технических изделий. Поэтому на данный момент в составе приложения *OntoAR*с использованием платформы дополненной реальности Vuforia и игрового движка Unity, реализовано распознавание плоского изображения, на котором много особых точек, виртуальный контент привязывается к областям данного изображения и не зависит от реального расположения деталей изделия. На рис.1(a) и рис.1(b) представлены результаты визуализации первого и последнего этапов сборки некоторой части насоса в демонстрационном прототипе приложения. Использование видеоочков позволяет высвободить руки сборщика. Управление переходом к визуализации следующего этапа сборки осуществляется на основе голосовых команд, что значительно упрощает процесс обучения на основе мультимедийной инструкции.

Рис. 1(a). Результат визуализации первого шага сборки в приложении OntoAR.

Рис. 1(b). Результат визуализации последнего шага сборки в приложении OntoAR.

Построение дополненной реальности является последним шагом в процессе создания дополненной реальности и выполняется сразу после этапа распознавания. Этот этап направлен навосстановление системы координат реального мира по данным, полученным из двумерного изображения (реконструкция 3D сцены), корректное встраивание виртуального контента в изображение[6] и рендеринг.

Для решения третьей из перечисленных выше задач необходимо было выбрать такой способ представления формализованного экспертного знания о процессе сборки, чтобы для интерпретации этого знания можно было построить унифицированный алгоритм, легко адаптируемый к специфике конкретного сборочного процесса. В качестве такого способа представления знаний была выбрана онтология, которая при помощи разрабатываемых нами средств автоматически генерируется из текста инструкции по сборке изделия. В процессе анализа текста инструкции строятся онтологии двух типов – предметная и прикладная, которые вместе образуют онтологию задачи сборки. Каждая вершина предметной онтологии соответствует некоторой детали изделия и помимо атрибутов, описывающих собственно эту деталь, содержит описание ее расположения в сборочной конструкции (см. рис.2(a)).

В дальнейшем вершины предметной онтологии будут ссылаться на файлы сборки,спроектированные в CAD системах и содержащие 3D-модели деталей, а также сущности, описывающие геометрические взаимосвязи между компонентами сборки (сопряжения).Каждая вершина прикладной онтологии описывает конкретную сборочную операцию, ссылаясьна описание соответствующих деталей предметной онтологии (см. рис. 2(b)).

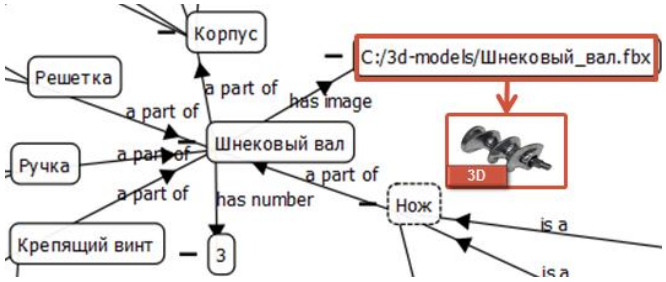


Рис. 2(a). Предметная онтология.

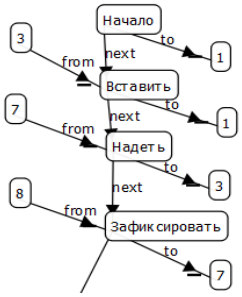


Рис. 2(b). Прикладная онтология.

Отличительной особенностью предлагаемого подхода является управляемый описанными онтологиями способ разработки и выполнения мультимедийной инструкции, который не зависит от специфики процесса сборки конкретного изделия и сокращает время на подготовку исходных данных для визуализации.

Библиографический список

1. Нишевой обзор рынка дополненной реальности [Электронный ресурс] URL: http://www.slideshare.net/amamontov/ss-16194278 (дата обращения: 04.05.2016).
2. Augmented Reality Trends [Электронный ресурс] URL: http://www.augmentedrealitytrends.com/ (дата обращения: 04.05.2016).
3. Augmented Reality for Enterprise Alliance [Электронный ресурс] URL: http://thearea.org/ (дата обращения: 04.05.2016).
4. Официальный сайт компании NGRAIN [Электронный ресурс] URL: http://www.ngrain.com/ (дата обращения: 04.05.2016).
5. *Шапиро Л.* Компьютерное зрение // Шапиро Л., Стокман Дж.; Пер. с анг. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 752 с.
6. *Herbert Bay* SURF: Speeded Up Robust Features // Herbert Bay, Tinne Tuytelaars, Luc Van Gool. – 2008. – 14 с.
7. Гостев И.М. Методы идентификации графических объектов на основе геометрической корреляции // Физика элементарных частиц и атомного ядра. – 2010. – Т. 41, вып. 1. – С. 49–94.
8. *Evaluating* the Benefits of Augmented Reality for Task Localization in Maintenance of an Armored Personnel Carrier Turret / Steve Henderson, Steve Feiner // Proceeding of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '09). – 2009. – P. 135–144.
9. VuforiaDeveloper Portal [Электронный ресурс] URL: https://developer.vuforia.com (дата обращения: 06.04.2016).

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF DEVELOPMENT SOFTWARE TOOLS FOR VISUAL ACCOMPANIMENT OF TECHNICAL PRODUCTS AASEMBLY

Daria Badanina, Svetlana Chuprina

PermStateUniversity, st. Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990, b.dasha.ya@gmail.com

The article is devoted to improving the adaptability of software tools for visual accompaniment of technical products assembly by combining AR-technology and ontology engineering methods. The paper demonstrates how computer vision and computer-aided design (CAD) technologies help to tackle the humanitarian and technical problems of new employees training. The main features of program system OntoAR, which implements the suggested approach, are discussed.

Keywords: Interactive Multimedia Instruction, Technical Products Assembly, Augmented Reality, Computer Vision, Ontological Engineering.

УДК 378.14(045)

ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОГО СТИЛЯ УЧЕБНО-ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БАКАЛАВРА МАТЕМАТИКИ

Баранова Наталья Анатольевна, Банникова Татьяна Михайловна

Удмуртский государственный университет, 426034, Россия, г.Ижевск, ул. Университетская, 1, natik-231@yandex.ru

В данной статье рассматривается проблема подготовки бакалавров математических направлений. В связи с требованиями ФГОС у выпускников данных направлений должны быть сформированы способности к самоорганизации и самообразованию, а так же опыт формирования индивидуального стиля своего профессионального развития. На примере Института математики, информационных технологий и физики Удмуртского госуниверситета анализируется возможность формирования у студентов бакалавриата индивидуального стиля учебно-профессиональной деятельности. Предлагаются формы организации учебного процесса, учитывающие индивидуальные особенности обучающихся. Организованная таким образом педагогическая деятельность заключается в развитии личности студента на основе учета его индивидуальных качеств, в научении обучающегося самостоятельно планировать жизненный путь и индивидуальный стиль учебно-профессиональной деятельности, разрешать проблемные ситуации, что неизбежно положительно скажется на качестве подготовки специалиста.

Ключевые слова: самообразовательная деятельность, индивидуальный стиль профессионального развития, индивидуальный стиль учебно-профессиональной деятельности.

Та степень свободы, которую предоставляет общество человеку, в его профессиональной реализации означает, что в процессе профессионального обучения должны формироваться умения самостоятельно ставить личностно и социально значимые цели, проектировать траекторию их достижения, прогнозировать возможные результаты, самостоятельно находить необходимую информацию. Сформированность данных качеств позволит выпускнику бакалавриата выстраивать индивидуальную траекторию своего профессионального развития. Для этого необходимы новые формы организации образовательного процесса в высшей школе, к одной из которых можно отнести целенаправленное формирование индивидуального стиля учебно-профессиональной деятельности.

На основе исследований Холодной М.А. под индивидуальным стилем учебно-профессиональной деятельности бакалавра мы понимаем проявление персональных познавательных способностей обучающегося в конкретной учебной ситуации. Своеобразие стиля в свою очередь зависит от особенностей индивидуального ментального опыта данного обучающегося и представляет собой стратегии разрешения конкретной учебной ситуации.

© Баранова Н.А., Банникова Т.М., 2016 г.

Под влиянием присущих обучающему познавательных стилей (стилей кодирования и переработки информации, постановки и решения проблем, познавательного отношения к миру) формируются индивидуальные способы учебной деятельности [1].

Процесс формирования индивидуального стиля учебно-профессиональной деятельности бакалавра в Институте математики, информационных технологий и физики ФГБОУ ВПО «Удмуртский госуниверситет» начинается на первом курсе. В течение сентября вместо основных математических дисциплин студенты первокурсники изучают курс элементарной математики, основной целью которого является ликвидация пробелов школьного математического образования.

В процессе такой интенсивной подготовки студенты-первокурсники получают возможность: определить индивидуальный смысл изучения математики; ставить собственные цели в изучении конкретных тем или разделов математики; выбирать оптимальные формы и темпы обучения; применять такие навыки учебной деятельности, которые наиболее соответствуют его индивидуальным особенностям; рефлексивно осознавать полученные результаты; осуществлять оценку и корректировку своей деятельности.

В рамках курса «Основы самообразовательной деятельности» куратором группы проводится диагностика личностного потенциала студента, формируются основные учебные умения и навыки, вырабатываются основы индивидуального стиля учебной деятельности.

К концу первого семестра первокурсники обладают информацией о своих математических способностях, осознают необходимость самообразовательной деятельности для успешности дальнейшего обучения, что положительно сказывается на результатах первой сессии.

На основе анализа своих потребностей и возможностей студентам в течение второго года обучения необходимо выполнить курсовые проекты по основным математическим дисциплинам: «Алгебра», «Математический анализ», «Дифференциальная геометрия», «Дифференциальные уравнения». В процессе выполнения этих проектов студент бакалавриата знакомится с преподавательским составом выпускающих кафедр, с основными научными направлениями кафедр. Курсовые работы отличаются характером исследования: более углубленное изучение дисциплины, использование информационных технологий для визуализации математических понятий, самостоятельное исследование, решение новой для студента математической задачи и т. д.

Важно отметить, что на втором курсе обучения необходим систематический контроль и анализ достигаемых промежуточных результатов, и сопоставление с целями

индивидуальных и общих коллективных программ занятий. Для успешной реализации этого этапа преподавателями проводятся консультации по изучаемым темам и разделам, по выбору способов учебной деятельности, самоконтроля и самооценки, форм предоставления продуктов своей самостоятельной деятельности.

Благодаря организованному таким образом процессу обучения студент получает возможность индивидуального общения практически со всеми преподавателями выпускающих кафедр, что позволяет ему более осознано выбрать направление специализации и научного руководителя, под руководством которого он будет осуществлять дальнейшую исследовательскую деятельность.

На третьем и четвертом курсах у студентов проходят научно-исследовательские практики. Продукт, получаемый студентом на практике, как правило, является составляющей частью курсового проекта.

Рабочий план 3-4 курсов бакалавриата включает систему спецкурсов, которые дают разнообразные возможности для профессионального и личностного роста: курсы, связанные с информационными технологиями, в том числе с графическими редакторами, педагогической и психологической направленности, курсы экономического направления и др.

На этом этапе важное значение приобретает формирование профессиональной идентичности, готовности к будущей практической деятельности по получаемой специальности, развитие исследовательских компетенций и готовности к самостоятельным исследованиям, а также способности к самостоятельному усвоению научных знаний и их творческому применению на практике. Исследовательская деятельность и постоянное самосовершенствование в процессе такой интегрированной системы становятся личной потребностью каждого студента [2].

Учитывая свой индивидуальный стиль учебно-профессиональной деятельности студент при изучении дисциплины может, например, выбрать один из следующих подходов: образное или логическое познание, углублённое или энциклопедическое изучение, ознакомительное, выборочное или расширенное изучение дисциплины. Сохранение логики предмета, его структуры и содержательных основ будет достигаться с помощью фиксированного объема фундаментальных образовательных объектов и связанных с ними проблем, которые обеспечат достижение студентами бакалавриата нормативного образовательного уровня.

Диагностика профессиональных способностей в конце обучения помогает выпускнику в дальнейшем профессиональном самоопределении, позволяет осознать себя как субъекта

профессиональной деятельности, способного быть автором своего профессионального и жизненного пути.

Педагогическая деятельность в процессе всего обучения заключается в развитии личности отдельного обучаемого на основе учета его индивидуальных качеств, в научении обучающегося самостоятельно планировать жизненный путь и индивидуальный стиль учебно-профессиональной деятельности, разрешать проблемные ситуации, что неизбежно положительно скажется на качестве подготовки специалиста.

Библиографический список

1. *Холодная М.А.* Когнитивные стили: о природе индивидуального ума: Учебное пособие для высших учебных заведений. Москва. 2002.
2. *Леонов Н.И., Баранова Н.А., Банникова Т.М.* Индивидуальная образовательная траектория бакалавра математики как основа самообразовательной деятельности: Известия Пензенского государственного педагогического университета имени В. Г. Белинского. Сер. Общественные науки. - 2011. - № 24. - С. 692-694.

FORMATION OF INDIVIDUAL STYLE OF EDUCATIONAL PROFESSIONAL ACTIVITY OF THE BACHELOR OF MATHEMATICS

Baranova N. A., Bannikova T. M.

UdmurtStateUniversity, st. University, 1, Izhevsk , Russia, 426034, natik-231@yandex.ru

AbstractIn this article the problem of training of bachelors of the mathematical directions is considered. In connection with the requirements of FGOS at graduates of this directions abilities to self-organization and self-education, and also experience of formation of individual style of the professional development have to be created. On the example of Institute of mathematics, information technologies and physics of the Udmurt state university the possibility of formation at students of a bachelor degree of individual style of educational professional activity is analyzed. The forms of the organization of educational process considering specific features of trained are offered. Organized thus pedagogical activity consists in development of the identity of the student on the basis of the accounting of his individual qualities, in learning which is trained independently to plan a course of life and individual style of educational professional activity, to resolve problem situations that will inevitably positively affect quality of training of the expert.

Keywords: self-educational activity, individual style of professional development, individual style of educational professional activity.

УДК 378

КОРРЕЛЯЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПЕРВОЙ СЕССИИ И БАЛЛОВ ЕГЭ

Галиакберова Юлиана Геннадиевна

Научный руководитель – Латыпова Наталья Владимировна
Удмуртский государственный университет, 426034, Россия, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, yiliana17@mail.ru

Аннотация. Цель данной работы – провести статистический анализ, где в качестве исходных данных взяты результаты ЕГЭ и первой сессии студентов математического отделения Института математики, информационных технологий и физики Удмуртского госуниверситета, и выяснить, существует ли зависимость между двумя выборками данных, и какой характер у этой зависимости. Для статистического анализа данных используется коэффициент корреляции Пирсона. Основной вывод, который можно сделать в результате исследования по полученным данным: баллы ЕГЭ соответствуют результатам первой сессии. Корреляционная связь между выборками тем сильнее, чем выше был конкурс на данное направление подготовки и чем выше проходной балл. Коэффициент корреляции Пирсона равен 0.578. Все представленные результаты статистически значимы. Также проведен сравнительный анализ результатов ЕГЭ по каждому предмету по отдельности с результатами соответствующих экзаменов сессии для каждого направления подготовки.

Ключевые слова: результаты сессии, баллы ЕГЭ, статистический анализ, коэффициент корреляции Пирсона.

Общепринятым стало негативное отношение к единому государственному экзамену (ЕГЭ), дающему оценку знаний выпускника школы. Предполагается ввести нечто подобное для оценки качества подготовки выпускников вузов. Возникает проблема: насколько адекватны результаты ЕГЭ, и существует ли зависимость между баллами ЕГЭ и успешностью обучения в вузе, которая определяется результатами сессии. Если такая зависимость имеется, то наиболее тесно она должна проявляться в корреляции баллов ЕГЭ и результатов именно первой сессии.

В работе [1] с помощью коэффициента корреляции Пирсона установлена зависимость результатов ЕГЭ и результатов первой сессии студентов Института математики и компьютерных наук Уральского федерального университета. Цель данной работы – провести аналогичные статистические исследования, где в качестве исходных данных взяты результаты ЕГЭ и первой сессии студентов математического отделения Института математики, информационных технологий и физики Удмуртского госуниверситета. В отличие от Уральского федерального университета в УдГУ проходной и средний баллы, к сожалению, значительно ниже, поэтому интересно выяснить, существует ли зависимость

© Галиакберова Ю.Г., 2016 г.

между двумя имеющимися выборками данных, и какой характер у этой зависимости. Дополнительно в исследовании в отличие от работы [1] проводится статистическая обработка и анализ выборочных данных, как по каждому направлению подготовки, так и по отдельным дисциплинам.

Формула коэффициента корреляции Пирсона для двух выборок имеет вид:

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}},$$

где $X = (x_1, x_2, ..., x_n)$ и $Y = (y_1, y_2, ..., y_n)$ – выборки $\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i, \bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i.$

В 2015 году прием на математическое отделение осуществлялся по результатам ЕГЭ по таким предметам, как

- математика,
- русский язык,
- физика или информатика и ИКТ.

Впервые в 2015 году был прием на бюджетные места направления «Педагогическое образование (профиль: математика)» с ЕГЭ по предметам:

- математика,
- русский язык
- обществознание.

Всего на бюджетное обучение зачислено 98 человек. Данные по набору представлены в таблице 1.

Таблица 1.Данные по набору

Направление	***План приема***	***Средний балл***
Математика и компьютерные науки (МиКН)	35	168.6
Прикладная математика и информатика (ПМИ)	25	194.1
Математика	11	218
Механика и математическое моделирование (МиММ)	12	155.3
Педагогическое образование (ПО)	15	202.6

Так как на направление «Математика» в качестве эксперимента в 2015 году на 11 бюджетных мест было принято 9 выпускников Удмуртского республиканского социально-педагогического колледжа по собеседованию, то это направление в статистической обработке не участвовало.

В первую сессию все студенты сдавали 4 экзамена. Для направления «Прикладная математика и информатика» это были экзамены по дисциплинам: Математический анализ, Алгебра и геометрия, Языки программирования и История; для остальных направлений

подготовки – Математический анализ, Алгебра, Геометрия и История. В таблице 2 представлены результаты первой сессии на 01.02.2016.

Таблица 2. результаты первой сессии на 01.02.2016

Направление	***Сдали сессию в срок (в скобках %)***	***Имели задолженность***	***Средний балл***
МиКН	17 (49%)	18	3.2
ПМИ	17 (68%)	8	3.7
МиММ	6 (50%)	6	3.5
ПО	14 (93%)	1	4.4

В таблице 3 приведен статистический анализ результатов ЕГЭ и первой сессии по общей сумме баллов и оценок соответственно. Все результаты, представленные в таблицах ниже, статистически значимы, т.к. P-Value<0.05.

Таблица 3. статистический анализ результатов ЕГЭ и первой сессии

Направление	***Коэффициент корреляции Пирсона***
Математика и компьютерные науки	0.542
Прикладная математика и информатика	0.783
Механика и математическое моделирование	0.336
Педагогическое образование	0.536

Общая классификация корреляционных связейгпо шкале Чеддока [2] имеет вид:

- при $|r| > 0.70$ – сильная (или тесная) связь;
- $0.50 < |r| < 0.69$ – средняя связь;
- $0.30 < |r| < 0.49$ – умеренная связь;
- $0.20 < |r| < 0.29$ – слабая связь;
- $|r| < 0.19$ – очень слабая связь.

Заметим, что гизменяется в интервале от -1 до +1. Знак rозначает, увеличивается ли одна переменная по мере того, как увеличивается другая (положительный r), или уменьшается ли одна переменная по мере того, как увеличивается другая (отрицательный r).

Вывод, который можно сделать по полученным данным следующий: результаты ЕГЭ соответствуют результатам первой сессии. Наиболее сильная корреляционная связь выявлена у направления «Прикладная математика и информатика», где традиционно самый высокий конкурс; наиболее слабая (умеренная) – у направления «Механика и математическое моделирование», что может быть связано как с небольшой выборкой (у направления «Механика и математическое моделирование» прием всего 12 человек), так и невысокими баллами зачисленных абитуриентов. В таблице 4 представлено сравнение суммы баллов ЕГЭ и суммы оценок сессии по всем студентам данных направлений.

Таблица 4. Сравнение суммы баллов ЕГЭ и суммы оценок сессии

	Сумма оценок первой сессии
Сумма баллов ЕГЭ	0.578

Заметим, что соответствующий коэффициент Пирсона в работе [1] был равен 0.523.

Интересно сравнить результаты ЕГЭ по каждому предмету по отдельности с результатами экзаменов сессии для каждого направления подготовки (см. таблицы 5).

Таблица 5.1

МиКН	Математический анализ	Алгебра	Геометрия	История
Математика	0.613	0.210	0.427	0.479
Русский язык	0.381	0.221	0.283	0.446
Физика (42%)	0.419	0.454	-0.412	0.396
Информатика и ИКТ (58%)	0.450	-0.145	0.410	0.271

Таблица 5.2

МиММ	Математический анализ	Алгебра	Геометрия	История
Математика	-0.415	0.129	0.468	0.074
Русский язык	0.423	0.739	0.480	0.700
Физика	-0.370	0.359	0.634	0.412

Таблица 5.3

ПО	Математический анализ	Алгебра	Геометрия	История
Математика	0.090	0.715	0.193	0.651
Русский язык	0.073	-0.421	-0.287	-0.284
Обществознание	0.080	0.053	0.020	0.194

Таблица 5.4

ПМИ	Математический анализ	Алгебра и геометрия	Языки программирования	История
Математика	0.612	0.782	0.626	0.235
Русский язык	0.362	0.683	0.410	0.163
Физика (43%)	0.212	0.505	0.258	0.182
Информатика и ИКТ (57%)	0.794	0.751	0.517	0.393

И здесь разброс коэффициентов корреляции Пирсона слишком большой. Например, вполне ожидаемо, что результаты экзаменов по Математическому анализу и баллов ЕГЭ по математике связаны теснее, чем по русскому языку. Причем у направлений «Математика и компьютерные науки» и «Прикладная математика и информатика» коэффициент Пирсона для экзамена по Математическому анализу и ЕГЭ по математике равен 0.612-0.613, что говорит о сильной связи. Но у направления «Педагогическое образование» соответствующий

коэффициент равен 0.090 (очень слабая связь), а у направления «Механика и математическое моделирование» он – отрицательный (-0.415, умеренная связь). А если учесть, что экзамен по математическому анализу для всех направлений, кроме направления «Прикладная математика и информатика», принимался одним и тем же преподавателем, то картина становится еще более запутанной. И здесь результаты зависят не столько от преподавателя (читавшего лекции и принимавшего экзамен), как от базовых знаний студентов, их мотивации к обучению и, возможно, от ассистентов, проводивших практические занятия. Все это требует дополнительного исследования, и, быть может, применение другого аппарата.

Подводя итоги, можно сделать следующие выводы. Результаты ЕГЭ соответствуют результатам первой сессии: корреляционная связь тем сильнее, чем выше был конкурс на данное направление подготовки и чем выше проходной балл. Но, как показывает опыт, если у студента есть желание учиться, то преодолев первую сессию и имея сильную мотивацию, он может быть вполне успешен в учебе в дальнейшем.

Библиографический список

1. *Асанов М.О, Бродская Л.И., Коврижных А.Ю., Сеньчонок Т.А.* Статистическая обработка данных результатов ЕГЭ и первой сессии в институте математики и компьютерных наук УрФУ // Математика и информационные технологии в естественно-научном образовании: сб. научных трудов. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2014. С. 25-29.
2. http:// www.studfiles.ru/preview/3053332/page:10/ (Дата обращения: 20.03.2016)

THE CORRELATION OF THE RESULTS OF THE FIRST SESSION AND THE UNIFIED STATE EXAM SCORES

Galiakberova Yiliana G.

UdmurtStateUniversity, st. Universitetskaya, 1, Izhevsk,Russia,426034, yiliana17@mail.ru

Abstract. The purpose of this work - to carry out statistical analysis, where the raw data taken of the exam and the first session students Mathematics Department of the Institute of Mathematics, Information Technology and Physics of the Udmurt State University, and to determine whether relationship exists between two data samples, and a character in this relationship. Pearson's correlation coefficientis used for statistical data analysis. The main conclusion that can be drawn from the study on the findings: exam scores correspond to the results of the first session. The correlation between the samples of the stronger, the higher the competition for this area of training and higher pass rate. Pearson's correlation coefficient is 0.578. All these results were statistically significant. Also, a comparative analysis of the exam results for each subject individually with the results of the relevant examination session for each direction of preparation.

Key words: results of the first session, the unified state examination scores, statistical analysis, Pearson's correlation coefficient.

УДК 378.14

ДИДАКТИЧЕСКИЕ ИГРЫ НА МАТЕМАТИЧЕСКОМ МАТЕРИАЛЕ ДЛЯ ШКОЛЬНИКОВ И СТУДЕНТОВ

Гребенщикова Дарья Петровна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 24, dasha15grebenshikova@gmail.com

Игра неотъемлемая часть жизни человека. Ее можно проводить не только для развлечения, но и для обучения. На математическом факультете ПГГПУ создано бюро по проведению дидактических игр для студентов. Игры могут проводиться как в рамках изучения дисциплины, так и внеаудиторно. Они используются в качестве систематизации знаний, проверки остаточных знаний, подготовки к мониторингу формата ОГЭ и др. В данной статье описана структура и особенности игры «Математическая азбука», которая проводилась на всероссийской олимпиаде по математике среди студентов педагогических вузов в Екатеринбурге. Также представлена игра «Домино» для 9-х классов, задачи которой были в формате ОГЭ. Форма организации занятий в виде дидактической игры имеет множество положительных сторон, игра способствует выработке коммуникативных качеств, чувства ответственности, воли к победе и немаловажного умения работать в команде.

Ключевые слова: игры для школьников и студентов, дидактическая игра, бюро по проведению игр, математические соревнования.

Формирование личности школьника и студента происходит в различных видах деятельности: учебной, трудовой, общественной и игровой. Каждая игра имеет свои особенности и возможности на различных этапах обучения [1]. Мы остановимся на дидактических играх. Их определяют по-разному, одно из определений звучит так: дидактические игры – это вид учебных занятий, организуемых в виде учебных игр, реализующих ряд принципов игрового, активного обучения и отличающихся наличием правил, фиксированной структуры игровой деятельности и системы оценивания, один из методов активного обучения [2].

В 2014-2015 учебном году на математическом факультете ПГГПУ было организовано бюро «Дидактические игры на математическом материале». Основная задача бюро заключается в организации и проведении разнообразных дидактических игр на математическом материале, как для школьников, так и для студентов.

В октябре 2015 года нами была проведена игра на всероссийской олимпиаде по математике среди педагогических вузов в Екатеринбурге. Игра должна была проходить на второй день всех мероприятий, после трехчасовой олимпиады по высшей математике.

© Гребенщикова Д.П., 2016 г.

Исходя из этого, ее содержание было познавательно-развлекательного характера, не требующее сложных вычислений и доказательств.

Игра называлась «Математическая азбука». Она состояла из двух частей. Первая представляла собой игру «Азбука», суть которой состоит в том, что нужно угадать названия трех зашифрованных объектов. Все они объединены тем, что начинаются на одно и ту же букву. Каждый объект игры представлял собой математическое понятие. Участники видели три картинки, и им нужно было определить, какие математические объекты зашифрованы в них. Некоторые можно было распознать сразу, а некоторые были представлены в неявном виде. За каждую правильно угаданную тройку понятий выставлялось 4 балла. Для удобства проверки, игру делили на четыре этапа, по четыре зашифрованных буквы в каждом.

Эта часть игры позволила ее участникам посмотреть на использование математических объектов не только в научных текстах, но и в познавательно-развлекательной деятельности.

Вторая часть состояла из пяти этапов, каждый из которых представлял собой набор разнотипных заданий. Разбиение на этапы предусматривалось для быстрой проверки решенных задач и ведения протокола, а также для отслеживания промежуточных результатов, как жюри, так и участникам.

На выполнение заданий каждого этапа задавалось временное ограничение, проговариваемое перед каждым этапом. Задания этапов были разнотипными и представлены в различных формах. К примеру, были предложены задания на вычисления, на свойства математических объектов, на знание исторических фактов, на использование основ логики.

Поскольку участники игры были из педагогических вузов, то для будущих учителей математики немаловажную роль играет правильное прочтение математических формул и, наоборот, замена устной формулировки математической записью. С этой целью в игру были включены два задания такого типа.

Победителем считалась та команда, которая набрала большее количество баллов за две части игры.

Было много положительных откликов о проведенной нами игре.

Еще одним значимым для нас мероприятием было проведение игры для учащихся 9-х классов по заданиям формата ОГЭ. Для участия в игре приглашались команды различных школ Перми. На наше предложение откликнулось девять команд. По условиям в каждой из них должно было быть четыре человека. Поскольку в ОГЭ по математике включаются задачи разного уровня сложности, то было решено провести игру «Домино» [3]. Она дает возможность учащимся проявить свои навыки работы в команде и способности стратегически выстраивать деятельность. За 90 минут учащиеся могут порешать 28 задач

различной сложности, правильность решения которых можно отслеживать с помощью протокола. Также имеется возможность повторного решения задач, при неправильно данном первом ответе.

В начале игры учащиеся знакомились с ее правилами и особенностями, поскольку они играли в нее впервые. Освоившись в игре, учащиеся принялись активно решать задачу за задачей. Лидер сменялся через каждые пять минут, и такая напряженная борьба сохранялась до конца игры. В целом игра проходила в доброжелательной атмосфере. Можно было заметить, что школьникам понравилась такая форма проведения игры. В конце всего мероприятия были подведены итоги, награждены победители, некоторые участники поделились своими впечатлениями по проведенной игре. Все результаты игры можно увидеть на рис. 1.

Математическая игра "Домино". 26.03.2016 — *через 1 час*

место	команда	фрейм	00	01	02	03	04	05	06	11	12	13	14	15	16	22	23	24	25	26	33	34	35	36	44	45	46	55	56	66	сумма
1	ЕНДИ		10	1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	7	4	5	6	7	8	6	7	0	9	8		0	0	0	0	118
2	Альфа		10	1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	5	7	4	5	6	5	8	6	7	8	9			0				115
3	220 вольт		0	1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	6	4	5	6	7	8	6	7		9	8	0					107
4	Корень		0	1	0	3	4	5	6	2	3	4	5	6	7	4	5	6	0	8	6	7	0	0		9	10				101
5	Лицей 10			0	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	6	4	5	6	0	8	6	7	5	9		0	10	0	-5		101
6	Пифагоровцы		0	1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	7	4	5	6	7	8	6		8	9						0	101
7	Антанта		10	1	2	3	4	5	0	2	3	4	5	6	7	4	5	6	0	8	6	7	8		0		0		0		96
8	ВВП		0	0	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	6	4	5	6	0	8	6	7	0	0	0					0	82
9	Кумамон		10	1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6	7	0	5	0	0	-2	3	0	-3	0				0			61

Начало - 11.40 ***Окончание*** - 13.05 Осталось - 1 мин

Рис. 1. Протокол

В ходе работы бюро мы накапливаем опыт проведения дидактических для разных категорий обучающихся (школьников, студентов). Форма организации занятий в виде дидактической игры имеет множество положительных сторон, а именно игра способствует выработке коммуникативных качеств, чувства ответственности, воли к победе и немаловажного умения работать в команде. Она создает позитивную, доброжелательную атмосферу на занятии.

В дальнейшем планируем продолжить работу бюро и расширить круг участников игр.

Библиографический список

1. *Дышинский Е.А.* Игротека математического кружка. Пособие для учителя / Е.А. Дышинский – М.: Просвещение, 1972. – 145 с.
2. *Кругликов В.Н.* Деловые игры и другие методы активизации познавательной деятельности / В.Н. Кругликов, Е.В. Платонов, Ю.А. Шаранов. – СПб.: П-2, 2006. – 189 с.

3. *Корзнякова Ю.В.* Интерактивные формы внеучебной работы на математическом факультете ПГГПУ: моногр. / Ю.В. Корзнякова, И.В. Косолапова; Перм. гос. гуманит.-пед. ун-т. – Пермь, 2014. – 146 с.

DIDACTIC GAMES ON MATHEMATICAL MATERIALS FOR PUPILS AND STUDENTS

Grebenshikova Darya P.

Perm State Humanitarian Pedagogical University, st. Sibirskaya, 24, Perm, Russia, 614990,
dasha15grebenshikova@gmail.com

Playing an integral part of human life. It can be carried out not only for fun but also for teaching. At the Faculty of Mathematics PGGPU created Bureau for the educational games for students. Games can be held in the framework of the discipline, as well as extracurricular. They are used as the systematization of knowledge, checking residual knowledge, preparation for monitoring and OGE format. In this article, we describe the structure and features of the game "mathematical alphabet", which was held at the All-Russian Olympiad in mathematics among students of pedagogical universities in Yekaterinburg. Also featuring "Domino" game for 9th grade, which tasks were OGE format. Form classes in the form of a didactic game has many positive aspects, the game promotes the development of communicative qualities, sense of responsibility, will to win, and importantly the ability to work in a team.

Key words: games for students, didactic game, the bureau for the game, math competition .

УДК 004.42

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА ИЗУЧЕНИЯ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ C#

Гришин Александр Андреевич, Соколов Андрей Николаевич, Миндоров Николай Иванович, Ромашкина Татьяна Витальевна

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, aga199406@mail.ru

В статье представлено описание результатовочередного этапа разработки информационной системы для поддержки процесса изучения языка программирования C# с учетом материала раздела дисциплины «Информатика и основы программирования», на уровне основных понятий объектно-ориентированных языков программирования. Работа информационной системы рассматривается с точки зрения пользователя-преподавателя (администратора), пользователя-студента.Представлено описание одной из компонент информационной системыдля одновременной проверки, методом «черного ящика», нескольких сданных для оценкиучебных программ студентов. Проверка отдельной задачи включает компиляцию программы, сданной на проверку; извлечение из базы данных набора тестов для программы; запуск программы на наборе тестов; проверка выходных результатов; сохранение результатов. Использование студентами разработанной системы, направлено на улучшение качества усвоения ими учебного материала, выполнение самостоятельной работы, а также на освоение профессиональных компетенций.

Ключевые слова: информационная система, язык программирования, процесс обучения.

Анализ доступных литературных источников и электронных ресурсов по тематикеизучения дисциплины«Информатика и основы программирования»выявил необходимость разработки методических, учебных, дидактических и контрольно-измерительных материалов для поддержки процесса ееизучения. По мнению авторов, все перечисленные материалы и результаты учебной работы студентов за год должны компактно находиться в информационной системе. Кроме того, система должна быть открытой, чтобы ее можно было совершенствовать и расширять по мере накопления опыта эксплуатации. Исходя из результатов анализа на кафедре «Прикладная математика и информатика»Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ) разрабатываетсяинформационная система для поддержки изучения языкапрограммированияC# (на уровне основных понятий объектно-ориентированного программирования). На первом этапе разработки система поддерживала минимальный набор функциональных возможностей как преподавателя, так и студентов[1]. Апробация системы выявила ее положительные свойства, поэтому, было принято решение совершенствовать и

© Гришин А.А., Соколов А.Н., Миндоров Н.И., Ромашкина Т.В., 2016 г.

расширить ее функционал в части организации самостоятельной работы студентов в процессе изучения раздела «Методы» языка программирования C# как в аудитории, так и вне ее, а также автоматизации проверки разработанных студентами программ (уровень «тройка»).

На текущий момент времени информационная система представляет собой совокупность подсистем «Преподаватель», «Студент» и «База данных», обладающих необходимым функционалом.В базе данных хранится информация о перечне групп, списке студентов, изучаемом материале, заданиях для самостоятельной работы студента (СРС), тестовых заданияи др.. Вход пользователя в систему осуществляется через разработанный интерфейс (рис. 1).

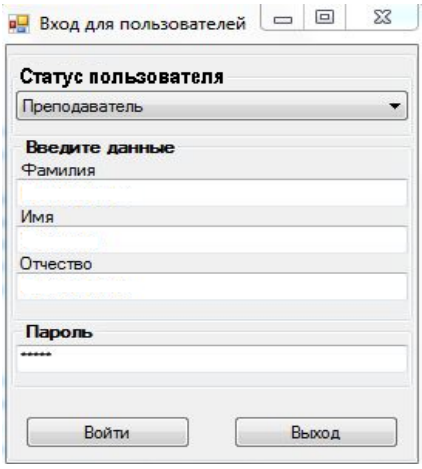


Рис. 1. Окно входа в систему

Доступные для пользователя возможности работы с информационной системой зависят от статуса пользователя, под которым он зарегистрирован. Пользователь, работая под статусом «Преподаватель», получает возможность создания своего курса, электронного учебника [2], «дерева» учебного материала и «прикрепления» к нему соответствующего материала (лекции, контрольно-измерительные материалы и т.д.) (рис. 2).

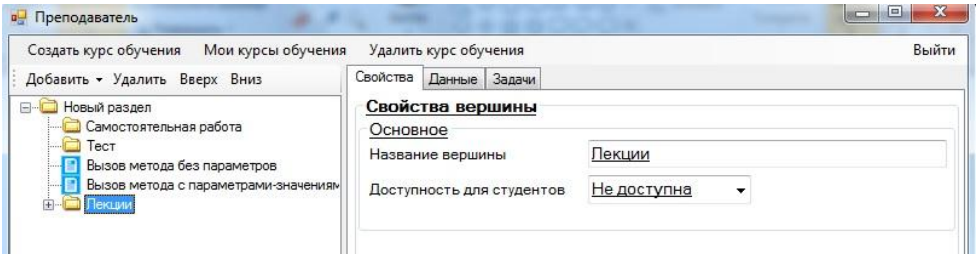


Рис. 2. Фрагмент окна для добавление «вершины» в дерево

При работе под статусом «Администратор», пользователь получает инструментарий для настройки системы и редактированиясписка преподавателей, списка групп студентов и др. (рис. 3).

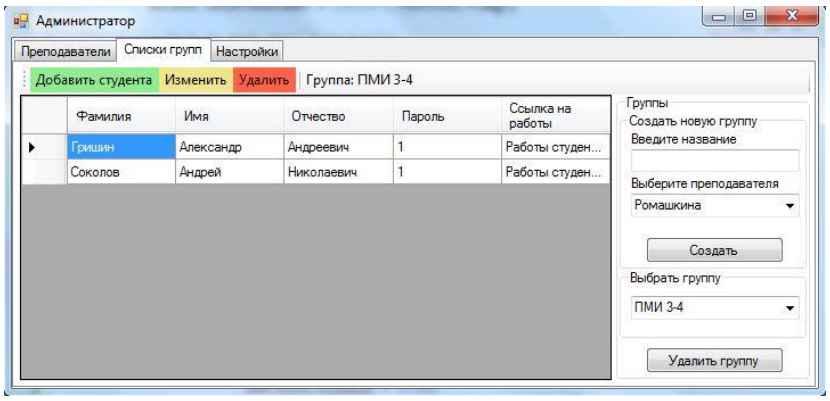


Рис. 3. Окно приложения для создания списка студентов в группе

Отличительной особенностью разрабатываемой системы является автоматизация процесса проверки программ, разработанных студентами в процессе обучения. С этой целью предусмотрен компонент системы для многопоточной одновременной проверки методом «черного ящика» нескольких сданных на проверку учебных программ студентов. На вход данного компонента подается набор задач (программ), которые следует проверить; далее создается ряд потоков (их количество устанавливается администратором или преподавателем).Для каждой задачи из базы данных выбирается набор тестов (разработаны заранее преподавателем) и порождается отдельный поток, тестирующий задачу на соответствующем наборе тестов. На выходе компонента – проверенные программы и начисленные по результатам проверки баллы, направленные в базу данных.

Этапы проверки отдельной задачи: компиляция программы, сданной на проверку; извлечение из базы данных набора тестов для программы;запуск программы на наборе тестов;проверка выходных результатов;сохранение результатов.Преподавателю выводится на экран информация о текущем состоянии работающего компонента (рис. 4).

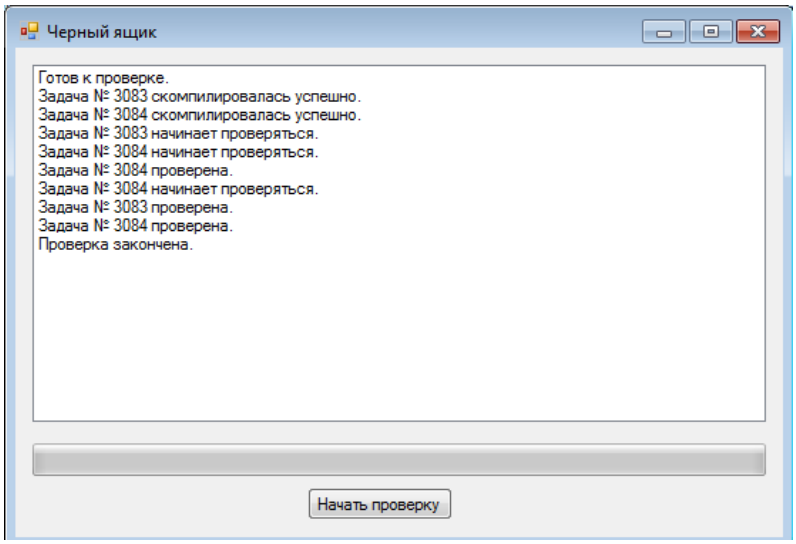


Рис. 4. Окно, отражающее процесс проверки учебных задач

Результаты проверки (баллы студентов) автоматически заносятся в базу данных.

Для пользователя со статусом «Студент» в информационной системе предусмотрен компонент «Тестирование» подсистемы «Студент», который тестирует студента по изученному материалу. После прохождения теста, студенту предоставляется информация о набранных баллах и допущенных ошибках.По каждой ошибке система выводит студенту

некоторый набор рекомендаций для устранения ошибок. Если не истекло время, отведенное на тест, то система предоставит студенту возможность выполнить тест еще раз. Но задания в этом тесте будут другие.

В настоящее время проводится тестирование системы и планируется проведение педагогического эксперимента по ее использованию в учебном процессе 1-ого курса механико-математического факультета ПГНИУ.

Библиографический список

1. *Гришин А. А., Соколов А. Н., Миндоров Н. И., Ромашкина Т. В.* Разработка информационной системы для поддержки процесса изучения языка программирования C# дисциплины «Информатика и основы программирования» // «Международный научно-исследовательский журнал» №5(36). Июнь 2015, часть 4.
2. *Башмаков А.И., Башмаков И.А.* Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. М.: Информационно-издательский дом «Филинъ», 2003.

DEVELOPMENT OF INFORMATION SYSTEM TO SUPPORT THE PROCESS OF LEARNING THE C# PROGRAMMING LANGUAGE

Grishin Aleksandr A., Sokolov Andrej N., Mindorov Nikolaj I.,Romashkina Tatiana V.

PermStateUniversity, st. Bukireva, 15, Perm,Russia, 614990, aga199406@mail.ru

The article presents a description of the results of the next stage of development of an information system to support the process of learning the C# programming language with the material section of the discipline "Informatics and basics of programming" at the level of the basic concepts of object-oriented programming languages. The operation of the information system is considered from the point of view of the user-a teacher (administrator), the user-student. Presents description of one of the component of the information system for simultaneous testing, the method of "black box", several have been submitted for the evaluation of educational programs students. Check individual tasks enables compilation of programs submitted; retrieving from a database a set of tests for the program; run the program on the test Suite; testing of the output results; saving results. The use of the students of the developed system aims to improve the quality of their assimilation of training material, execution of independent work and the development of professional competencies.

Key words: information system, programming language, the learning process.

УДК 004.432.4

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОБЪЕКТОВ В ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОМ ПРОГРАММИРОВАНИИ

Залогова Любовь Алексеевна

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

Объектно-ориентированная программа состоит из совокупности объектов. Использование изолированных объектов позволяет решить лишь небольшой круг задач. Как правило, интерес представляют такие объекты, которые обмениваются между собой сообщениями, т.е. взаимодействуют между собой. В статье излагается один из возможных способов организации взаимодействия объектов, приведены фрагменты программного кода для конкретного примера. Для наглядного представления передачи сообщений между объектами описаны диаграммы взаимодействия и последовательностей.Предложенная методика может быть использована при обучении технологии объектно-ориентированного программирования.

Ключевые слова: объектно-ориентированное программирование, класс, объект, взаимодействие объектов.

Парадигма объектно-ориентированного программирования [1] предполагает, что любая программная система проектируется как совокупность объектов. При этом объекты должны быть организованы таким образом, чтобы программист мог легко изменять их по мере того, как изменяются требования к программе. Как правило, использование изолированных объектов не позволяет достичь поставленной цели. Интерес представляет взаимодействие объектов, т.е. обмен информацией между объектами. Обычно говорят, что один объект взаимодействует с другим посредством сообщений, т.е. в процессе взаимодействия объекты обмениваются сообщениями. Сообщение – это вызов метода. Совместное использование методов различных объектов – показатель взаимодействия объектов. Таким образом, методы одного объекта должны вызывать методы других объектов. В этом случае ни один метод, участвующий во взаимодействии, не может достигнуть цели самостоятельно. Именно поэтому так важно правильно организовать обмен информацией между методами различных объектов. Такой обмен предполагает, что результаты работы метода одного объекта являются исходными данными для метода другого объекта. Если объект `Object2` посылает сообщение объекту `Object1`, то это означает, что объект `Object2` вызывает метод объекта `Object1`.

Рассмотрим, как реализуется взаимодействие объектов на примере задачи «Регистрация студентов на курсах».

© Залогова Л.А., 2016 г.

Постановка задачи. Каждый студент должен прослушать и сдать несколько курсов, перечисленных в учебном плане. Студент должен зарегистрироваться на выбранных курсах. Только после регистрации можно приступить к занятиям и сдаче экзаменов. Язык программирования – C# [3].

Определим класс Student, который содержит информацию об отдельном студенте.В классе Studentописано два поля – имя и номер студента. Методы класса: конструктор, печать информации о студенте и сравнение двух объектов класса Studentна равенство.

```
class Student{
   string s_name; // имястудента
   ints_id; // номерстудента
// описание свойств S_ name и S_id. . .
public Student(string s_name, int s_id) { // конструктор. . . }
   publicvoidDisplay(){ //вывод информации о студенте  . . . }
   // метод  сравнивает два объекта класса Student на равенство
public override bool Equals(object obj) {
    Student p = obj as Student;
   return ((s_name == p.s_name)&&(s_id == p.s_id));
}
}
```

Кроме класса Studentнеобходим класс Course, который содержит информацию об отдельном курсе. Поля класса Course- название и номер курса. Методы класса - конструктор, печать информации о курсе и сравнение двух объектов класса Course на равенство.

```
class Course {
stringc_name; // название курса
intc_id; // номер курса
// описание свойств C_ name и C_id. . .
public Course(string c_name, int c_id){ // конструктор. . .}
   publicvoidDisplay(){// вывод информации о курсе . . . }
// метод  сравнивает два объекта класса Course на равенство
public override bool Equals(object obj) {. . .}
}
```

Студент должен регистрироваться на курсах. Однако класс Course не содержит информации о студентах, а класс Student – о курсах. Следовательно, студент не может зарегистрироваться на курсах, а курс невозможно связать с информацией о студентах, которые его посещают. Поэтому опишем еще два класса CSLinkиCSRecords. Класс CSLink связывает одного студента с одним курсом. Поля класса CSLink – номер студента, номер курса и оценка студента по курсу. Методы этого класса – конструктор и проверка на совпадение номеров студентов и номеров курсов у двух объектов класса CSLink.

```
classCSLink {
ints_id, c_id; // номер студента, номер курса
intgrade; // оценка
   // описание свойств S_id, C_id и Grade. . .
```

```
  public CSLink (int s_id, int c_id) { // конструктор . . . }
  // проверка на совпадение номеров студентов и номеров курсов
  publicoverrideboolEquals(objectobj) {
  CSLink p = obj as CSLink;
         return ((s_id == p.s_id) && (c_id == p.c_id));
  }
} //classCSLink
```

Класс CSRecords содержит массив объектов класса CSLink и, таким образом, используется для регистрации студентов на курсах (для связи студентов и курсов). Поля max_counts и cur_counts - максимальное и текущее количество регистраций соответственно. Метод myFind проверяет, существует ли регистрация студента на курсе, посылая сообщение объекту класса CSLink. Если такой регистрации нет, метод AddRegistr регистрирует студента на курс, т.е. добавляет соответствующую запись в массиврегистраций. При этом считается, что номер студента и номер курса заданы верно (существуют). Метод Display()распечатывает информацию обо всех регистрациях. В результате вызова этого метода объект класса CSRecordsпосылает сообщениеобъекту класса CSLinkдля получения номера студента, номера курса и соответствующей оценки.

```
  classCSRecords {
  CSLink [] m_Links; //ссылка на массив регистраций
  int max_counts, cur_counts;
  // описание свойств Max_counts и Cur_counts. . .
  public CSRecords(int max_counts) {// конструктор... }
  //метод проверяет, существует ли регистрация студента на курсе
  public bool myFind (int num_st, int num_course){
        int i=0; CSLink temp = new CSLink (num_st, num_course);
        while ((i < cur_counts) &&!temp.Equals(m_Links[i])) i++;
        if (i == cur_counts) return (false); else return (true);
  }
  //методрегистрируетстудентанакурс
       public bool AddRegistr(int num_st, int num_course){
         if (!myFind(num_st, num_course))
  // добавление записи в массив регистраций
        . . .
  }
      // печать информации обо всех регистрациях
  publicvoidDisplay(){
  for (int i=0; i< cur_counts; i++)
            Console.WriteLine("Student:  " + m_Links[i].S_id + "  Course "
  + m_Links[i].C_id+ "  Grade " + m_Links[i].Grade);
  }
  }
```

Еще один класс Recorder содержит список всех студентов и список всех курсов. Эта информация хранится в массивах m_Student и m_Course соответственно. Массив m_Student может содержать студентов, которые пока не зарегистрировались ни на один курс; а в массив m_Course могут входить курсы, на которые пока никто не записался.

Кроме того, класс Recorderсодержит объект m_CSRecords, который связывает студентов, курсы и регистрации. Методы AddStudentи AddCourse добавляют новых студентов и новые курсы. Как только студенты и курсы добавлены, можно начинать регистрацию. Для этой цели используется метод Registration, входные данные которого – номер студента и номер курса. Этот метод проверяет наличие заданного студента и курса в соответствующих массивах и посылает объекту m_CSRecordsсообщениеAddRegistro регистрации студента на курс.Кроме того, объект класса Recorder посылает сообщения объектам класса StudentиCourseдляполучения имени и номера студента, а также имени и номера курса.

```
class Recorder {
   Course [] m_Course ; // ссылканамассивкурсов
   Student [] m_Student; // ссылка массив студентов
CSRecords m_CSRecords; //ссылка на объект класса CSRecords
   int cur_st; //текущее количество студентов
   . . .
// описание свойств M_Course и M_Student . . .
// конструктор . . .
   // метод добавляет студента в массив студентов
public void AddStudent(string name, int num_st) {
    Student temp = new Student(name, num_st); int i = 0;
//проверяем, есть ли такой студент
    while ((i < cur_st) &&!temp.Equals(m_Student[i])) i++;
if //не нашли,  добавляем объект temp в массив m_Student
      . . .
    }
   public void St_Display(){ //выводспискастудентов
   for (int i = 0; i < cur_st; i++)
     Console.WriteLine(m_Student[i].S_name + "  " + m_Student[i].S_id);
}
   // метод добавляет курс в массив курсов
public void  AddCourse (string name, int num_cs) {
    Course temp = new Course(name, num_cs); int i = 0;
//проверяем, есть ли такой курс
   while ((i < cur_cs) &&!temp.Equals(m_Course[i])) i++;
if //не нашли,  добавляем объект temp в массив m_Course
      . . .
   }
publicvoidCs_Display(){ //вывод списка курсов{. . . }
// методрегистрируетстудентанакурсе
   public bool Registration (int student_id, int course_id)
     .  .  .
     if (m_CSRecords.AddRegistr(student_id, course_id)) return (true);
      elsereturn (false);
   }
  }
```

Процессрегистрации студента St на курсCsвыполняется следующим образом.

✓Регистратор (объект класса `Recorder`) проверяет, существует ли студент `St` и курс `Cs`, просматривая массивы `m_Student` и `m_Course`.

✓ Если студент`St` и курс `Cs`существуют, регистратор посылает сообщение `AddRegistr` объекту `m_CSRecords`, чтобы проверить, не был ли студент `St` уже зарегистрирован на курс`Cs`. Для этого с помощью функции `myFind` ищется соответствующий объект класса `CSLink`, а именно, посылаются сообщения`Equals`объектам этого класса.Если искомый объект не найден, выполняется регистрация студента на курс. Метод `AddRegistr`возвращает значение `true`, если регистрация прошла успешно, в противном случае – `false`.

✓ В процессе печати информации обо всех регистрациях объект `m_CSRecords` посылает сообщение объектукласса `CSLink`для полученияномера студента, номера курса и оценки.

Важно наглядно представить передачу сообщений между различными объектами. Для этой цели используются диаграммы взаимодействия и последовательностей [2]. На диаграмме взаимодействия изображаются объекты и их основные связи (рис. 1).

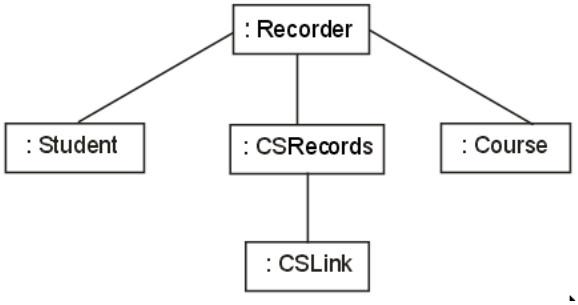


Рис. 1. Диаграмма взаимодействия

Диаграмма же последовательностей описывает последовательность (временной порядок) передачи сообщений (рис.2). Построение диаграммы начинается с размещения по горизонтальной оси объектов, участвующих во взаимодействии. Обычно объекты, инициализирующие взаимодействие, располагаются слева. Вдоль вертикальной оси в хронологическом порядке размещаются сообщения (сверху вниз). Линия жизни объекта – вертикальная пунктирная линия – показывает продолжительность существования объекта. Большинство объектов существуют в течение всего периода взаимодействия, поэтому их линии жизни выровнены по верхней границе диаграммы и имеют одинаковую длину. Сообщения на диаграмме изображаются стрелками, направленными от одной линии жизни к другой. Сплошная стрелка указывает на объект, который принимает сообщение, а пунктирная – на объект, которому возвращается результат.

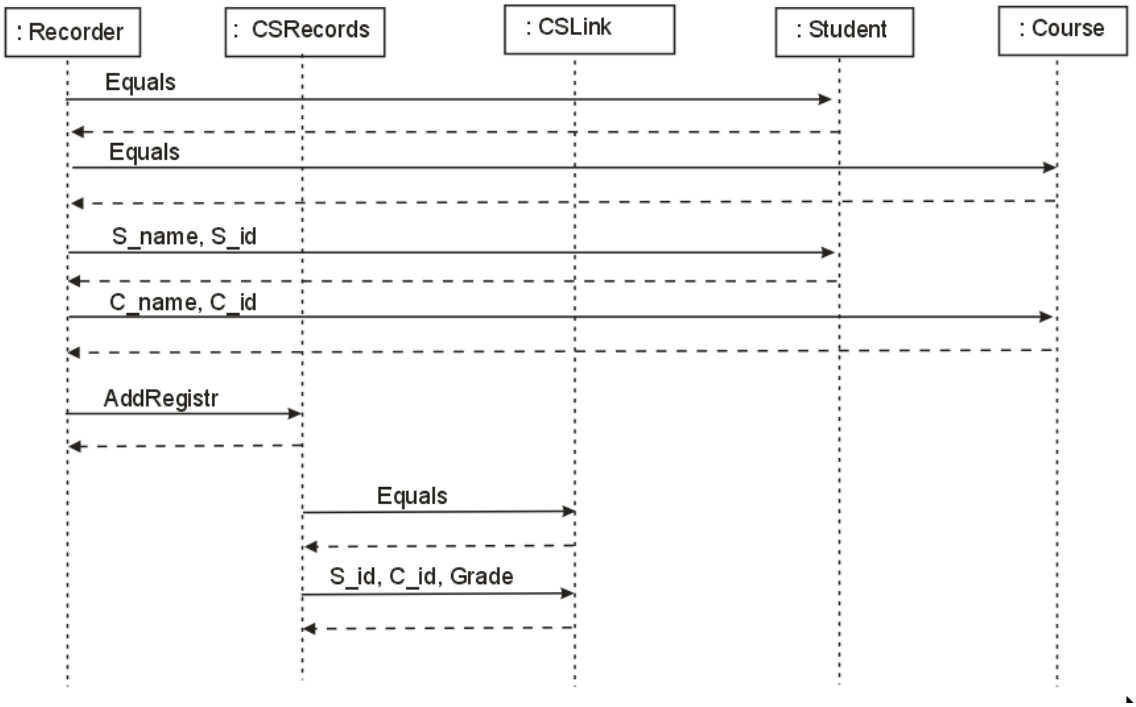


Рис. 2. Диаграмма последовательностей

Библиографический список

1. *Гради Буч и др.* Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений. М.: Вильямс, 2010.
2. *Гради Буч и др.* Язык UML. Руководство пользователя. М.: ДМК Пресс, 2007
3. *Герберт Шилдт.*Полный справочник по C#. М.: Вильямс, 2007.

OBJECT INTERACTION IN OBJECT-ORIENTED PROGRAMMING

Zalogova Lubov A.

PermStateUniversity, st. Bukireva, 15, Perm, Russia, 614990, zalogova.la@gmail.ru

Object-oriented program consists of a set of objects. The usage of the isolated objects solves only a small number of tasks. Typically the objects, which exchange the messages, that is interact with each other, are of great interest. The paper specifies one of the possible ways to organize the object interaction, the fragments of programming code are given for a specific example. Interaction diagrams and sequence diagrams are described to visualize the message exchange between the objects. The suggested methodology can be used in object-oriented programming technology teaching.

Key words: object-oriented programming, class, object, object interaction

УДК 378

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ДОСТИЖЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ

Зверева Анна Тимофеевна, Чернышова Анастасия Валерьевна

Курганский государственный университет, 640669, Россия, г. Курган, ул. Гоголя, 25, miit@kgsu.ru

В статье обсуждаются некоторые аспекты организации контроля обученности студентов в компетентностной парадигме образовательной деятельности. Приводится структура компетенции, раскрываются её структурные компоненты, описываются возможные уровни достижения компетенций: базовый, продвинутый, высокий (творческий). Каждый из уровней описан в общем виде, а также через действия обучаемых, что служит основой для отбора или составления контрольно-измерительных материалов, а также использования нетрадиционных средств организации контроля обученности. Описывается одно из инновационных средств – портфолио студента. Структура портфолио, требования к его содержанию и необходимость публичного представления нацелены на ритмичную работу студента во время семестра. Структура продумана таким образом, чтобы готовый образовательный продукт подтверждал уровень сформированности практически всего комплекса компетенций.

Ключевые слова: компетенция, ключевые компетенции, структурные компоненты, уровни достижения, портфолио.

Проблема оценки достижения компетенций возникла в высшей школе в связи с введением федеральных образовательных стандартов третьего поколения, провозгласивших компетентностный подход к оценке образовательных достижений. И, несмотря на то, что работа по этим стандартам продолжается уже более пяти лет, нельзя эту проблему считать до конца решенной. Каждый вуз решает поставленную задачу по-своему. Мы поставили перед собой задачу: изучить и обобщить опубликованный опыт организации контроля обученности в компетентностной парадигме, выстроить определенную систему организации контроля достижения уровней сформированности ключевых профессиональных компетенций.

На первом этапе решения поставленной задачи мы уточнили для себя понятие компетенции вообще, а также ключевых профессиональных компетенций. В качестве рабочих мы использовали следующие определения.

Компетенция – способность применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в определенной области [1].

Ключевая профессиональная компетенция –способность будущего специалиста (работника) решать задачи, которые возникают перед ним в процессе профессиональной

© Зверева А.Т., Чернышова А.В., 2016 г.

карьеры и не зависят от профессии или специальности (инвариантны по отношению к ним) [2], [3].

Для разработки оценочных средств необходимо представлять общую структуру компетенции, развернуть общую структуру через действия обучаемых и определить уровни сформированности той или иной компетенции.

Существуют разные подходы к определению структуры компетенций, однако, большинство авторов выделяют когнитивную и личностную составляющие [4].

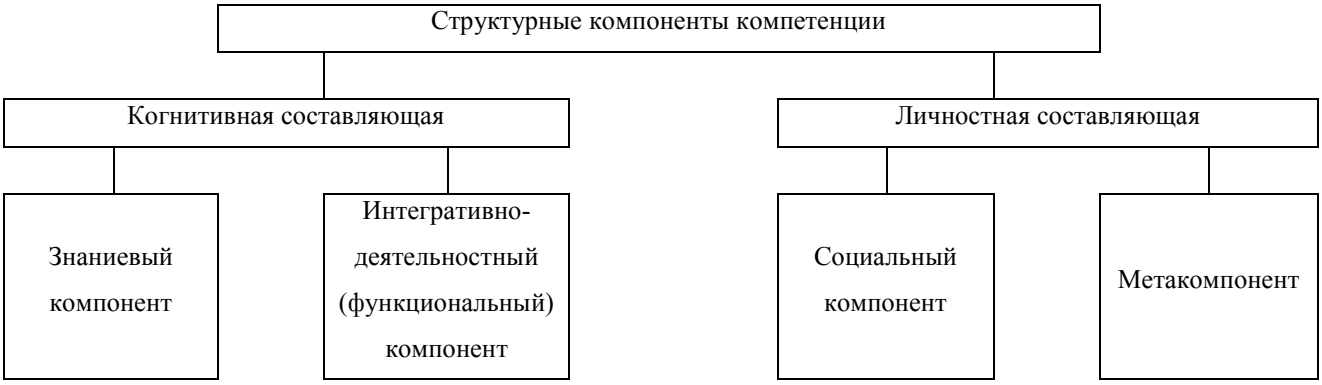


Рис. 1. Структурные компоненты компетенции

Мы согласились с точкой зрения И.В. Осиповой, О.В. Тарасюк и др. [4], которые включают в когнитивную составляющую два компонента.

Первый – знаниевый – определяет уровень сформированности системы знаний, включает теоретические и методологические основы предметной области. Второй – интегративно-деятельностный, или функциональный, – определяет степень сформированности практических навыков, позволяет оценить умения применять теоретические знания на практике, способность принимать решения как в стандартных, так и в нестандартных ситуациях.

Личностная составляющая определяет мотивы и ценностные установки личности в процессе осуществления деятельности, отношения к деятельности. В связи с этим данный компонент можно считать системообразующим и даже определяющим. Личностную составляющую также можно представить в виде двух компонентов: социального, который включает в себя все социальные компетенции, и метакомпонент, который и является основой для формирования других компетенций, поскольку определяет личностное отношение к деятельности.

Для выявления уровня сформированности ключевых компетенций необходимо определить перечень действий обучаемых, позволяющих судить о достижении того или иного уровня.

На основе изученной литературы мы пришли к выводу о том, что для вузовского обучения целесообразно рассматривать три уровня сформированности ключевых профессиональных компетенций: базовый, повышенный и высокий.

Базовый уровень соответствует минимально необходимым требованиям государственного стандарта в данной предметной области. Включает умение работать по заранее заданному алгоритму. Студент должен обладать достаточным уровнем знаний и навыков по изучаемому разделу или курсу для понимания проблемы. Должен обладать умениями по использованию учебных ресурсов применительно к данной области. Обладать минимально необходимой степенью самостоятельности.

Повышенный уровень предполагает умение оценить сложность предложенной задачи, возможность найти проблему в предложенной ему ситуации. Студент должен уметь самостоятельно спланировать свои действия и оценить эффективность своего решения. Должен продемонстрировать достаточно глубокое понимание проблемы в данной области, а также в смежных областях без постороннего руководства. Должен уверенно выбрать инструмент для решения практической задачи.

Высокий уровень предполагает наличие умения эффективно решать практические ситуации. Студент также должен обладать высоким уровнем знаний, умением обучения и наставничества по основам проблемы. Должен уметь организовать коллективную работу в заданном направлении. Уровень также предполагает умение решать комплексную проблему различными способами.

Высокий уровень сформированности ключевых профессиональных компетенций включает в себя базовый и профессиональный уровни и отличается степенью сложности, развитым творческим мышлением, гибкостью, возможностью осуществлять анализ и синтез, комбинировать ранее усвоенные знания, умения и навыки, принимать решения в нестандартных ситуациях, вести альтернативный поиск средств и способов решения задач.

Таким образом, можно сформулировать условие сформированности ключевых профессиональных компетенций: компетенция считается сформированной, если студент эффективно решает предложенную задачу и при относительной свободе выбора способов деятельности у него преобладает аналитическая, исследовательская или проектная деятельность.

Для разработки контрольно-измерительных материалов недостаточно описания уровней в обобщенном виде. Требуется определить действия обучаемых, свидетельствующие о достижении того или иного уровня. Представим эти действия в виде обобщенной таблицы.

Таблица 1. Представление ключевых компетенций в деятельностной (операциональной) форме

Уровни сформированности / Группы компетентностей	Базовый	Повышенный	Высокий
Общекультурные компетенции (ОК)	Легко включается в деятельность по решению учебной задачи как индивидуально, так и во взаимодействии с партнерами; самостоятельно находит в различных источниках необходимую для решения поставленной задачи информацию; планирует свою деятельность по решению учебной задачи; в устной или письменной форме представляет решение, осуществляет самоконтроль учебной или практической деятельности по образцу.	Организует работу группы на решение учебной задачи, осуществляет рациональный поиск необходимой для решения учебной задачи информации; рационально планирует и осуществляет деятельность; легко переводит информацию с одного языка на другой (вербальный, символьный, графический); представляет результат своей деятельности в виде развернутого обоснованного выступления в устной или письменной форме; контролирует все шаги (этапы) своей деятельности, контролирует работу в группе.	Планирует и организует группу на решение учебной задачи; оценивает корректность постановки учебной задачи, уточняет или конкретизирует задачу на основе проведенного анализа; систематизирует результаты учебной деятельности; владеет приемами представления результата работы по решению задач в развернутом виде.
Профессиональные компетенции	Опознает изучаемые объекты, перечисляет свойства, признаки, иллюстрирует конкретными примерами, применяет по образцу и в простейших измененных ситуациях, проверяет правильность выполнения действий.	Анализирует, приводит задачу к виду, удобному для нахождения решения; классифицирует, исследует, ставит вопросы (формулирует проблемы); по памяти воспроизводит определения, предложения (высказывания) и их доказательства.	Корректно формулирует предложенную задачу и предлагает модель её решения; определяет ценность (важность) предложенной информации; дает развернутую оценку решения любой учебной задачи.

Исходя из перечисленных действий обучаемых, подлежащих контролю, можно сделать вывод о том, что в качестве проверочных заданий можно использовать как традиционные средства, так и инновационные.

В качестве одного из инновационных средств мы используем портфолио студента.

Портфолио – способ фиксирования, накопления и оценки индивидуальных достижений обучающегося в определенный период его обучения [5].

Существуют различные типы портфолио. Наиболее общей классификацией является классификация по способу использования, в которой выделяются три типа портфолио: портфолио развития; портфолио подготовленности; показательное портфолио [5].

При оценке уровня сформированности компетенций по дисциплинам предметного цикла мы используем сочетание портфолио развития и портфолио подготовленности. Портфолио студента состоит из четырех разделов: 1 – автобиография автора и задачи изучения курса; 2 – коллектор (аннотированный список источников информации для изучения дисциплины в целом или отдельных её разделов); 3 – рабочие материалы (самостоятельная работа студента: домашние задания к каждому занятию, результаты выполнения индивидуальных заданий, контрольные работы, а также задания, выполненные в течение семестра); 4 – самоанализ изучения дисциплины.

Необходимость предъявления такого портфолио способствует ритмичной работе студента в течение семестра, качество предъявленных материалов говорит об уровне сформированности соответствующих компетенций.

Библиографический список

1. *СорокопудЮ.В.* Педагогика высшей школы. –Ростов Н/Д: Феникс, 2011.
2. *ЗимняяИ.А.* Ключевые компетенции – новая парадигма результатов образования // Высшее образование сегодня. 2003. № 5.
3. *ТатурЮ.Г.* Компетентность в структуре модели качества подготовки специалиста // Высшее образование сегодня. 2004. № 3.
4. *Проектирование* оценочных средств компетентностно-ориентированных образовательных программ для реализации уровневого профессионально-педагогического образования: метод. пособие/ авт.-сост. И.В. Осипова, О.В. Тарасюк, А.М. Старкова. – Екатеринбург: ФГАОУ ВПО РГППУ. 2010.
5. *КупцоваЛ.И., Мартынова Н.В., Томилина О.П.* Портфолио как способ формирования профессиональных компетенций // Специалист. 2010. № 3.

SOME ASPECTS OF CONTROLING THE LEVEL OF ACHIEVEMENT OF KEY PROFESSIONALCOMPETENCIES

Zvereva Anna T., Chernyshova Anastasia V.

Kurgan State University, st. Gogolya, 25, Kurgan, Russia, 640669, miit@kgsu.ru

The article deals with some aspects of organization of control over students` studying the competence paradigme of educational activities. The structure of competence is presented, the possible levels of achieving the competence are described: basic, advanced, high (creative). Every level is deseribed in general and also through the actions of students which serves as the basis for selecting and working out control and measuring materials, as well as for the use of non-traditional means of organizing the control of educational level. One of the innovation means is described – the portfolio of a student. The structure of the portfolio, demands to its contents and the necessity of public presentation are aimed at rhythmic work of students during the term. The structure is thought

over with a that the reade-made educational product should confirm the level of formation of competences.

Key words: competence, key competencies, structural components, levels of achievement, portfolio.

УДК 378.14.015.62
УДК 331.108.43

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА СРАВНЕНИЯ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ СФОМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

Казаринова Наталья Леонидовна, Шевчук Ирина Сергеевна

Пермская государственная сельскохозяйственная академия, 614000, Россия, г. Пермь, ул. Петропавловская, 23, prmkazarinova@bk.ru

В статье рассматривается организация фондов оценочных средств и формирование шкал оценивания компетенций в соответствии с образовательным стандартом. Этапность формирования оценки компетенции обуславливает использование различных шкал оценивания компетенций. Предложены подходы к оценке этапов формирования компетенции, групп компетенций и оценке сформированности комплекса компетенций с применением разных шкал оценивания (пятибалльной, десятибалльной, стобалльной и др.) с учетом соответствия оценки в любой шкале оценивания. В качестве инструментальных средств оценки рассмотрены математические модели, позволяющие объективизировать процедуру оценивания трудности фондов оценочных средств и уровня подготовленности студентов. Рассмотрены критерии сопоставления результатов разных шкал, подход к унификации итогов оценки. Предложенные инструментальные средства позволяют сравнивать шкалы оценивания при комплексной оценке сформированности компетенций.

Ключевые слова: фонды оценочных средств, компетенции, компетентность, инструментальные средства, шкала оценивания, модель Раша, модель Бирнбаума, составная оценка.

Современное состояние российской системы образования определяется действием Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) и его неотъемлемой части, требованиям к системе оценивания уровня подготовки студентов в рамках компетентностного подхода. Задачей каждого ВУЗа на сегодняшний день является создание инструментов, позволяющих проводить комплексную оценку сформированности компетенций на протяжении всех лет обучения в высшей школе.

Результатом реализации и освоения образовательной программы (ОП) является готовность выпускников к решению профессиональных задач различных видов профессиональной деятельности. В свою очередь, фонды оценочных средств (ФОС) представляют собой инструмент для оценки уровня освоения дисциплин, сформированности соответствующей компетенции, группы компетенций и оценки в целом общего уровня овладения компетенциями ОП. Модель формирования комплексной системы оценочных средств представлена ранее в материалах конференции [1]. В вязи с этим вопрос измерения и оценки сформированности компетенций является актуальным.

© Казаринова Н.Л., Шевчук И.С., 2016 г.

Формирование компетенции как правило, осуществляется на протяжении нескольких лет при изучении нескольких дисциплин. Изучение каждой дисциплины формирует часть компетенции и наполняется содержанием в виде знаний, умений, навыков. Этапность формирования оценки компетенции обуславливает использование различных шкал оценивания компетенций.

Информация, необходимая для построения эмпирической индивидуальной характеристической функции обучаемого, содержится в оценках сформированности компетенций и дифференцируются системой оценивания [2].

Примем за базу оценивания совокупность критериев и показателей качества подготовки (В) [3]:

$$B = \{C, I, R_B\}, \quad (1)$$

где R_B – множество взаимосвязей только между критериями и показателями качества подготовки, входящее во множество Ro; С – подмножества критериев; I – показатели качества подготовки.

С учетом измерения показателей используются различные шкалы оценивания. Наиболее распространёнными являются пятибалльная, десятибалльная, стобалльная шкалы, z-оценка и др.Важным критерием сопоставления оценок разных шкал является их соответствие.

Для оценки сформированности компетенций возможно применение составной оценки. Основное предположение для составной оценки

$$C = A + B + \ldots + K, \quad (2)$$

где *k* слагаемых оценки соответствуют *k* стадиям измерений.

Если составная оценка включает *k* компонентов, то дисперсия этой наблюдаемой оценки будет суммой *k* дисперсионных членов и *k (k - 1)* ковариационных членов, т.е.

$$\sigma_C^2 = \sigma_A^2 + \sigma_B^2 + \ldots + \sigma_K^2 + \sum_{i \neq j} \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j \quad (3)$$

где является суммой *k (k - 1)* ковариационных членов, а символами *i* и *j* обозначена любая пара компонентов измерителя [4].

Величина нижней границы надежности для составной оценки

$$\rho_{CC'} \geq \frac{k}{k-1}\left(1 - \frac{\sum \sigma_i^2}{\sigma_C^2}\right) \quad (4)$$

Модели оценивания результатов сформированности компетенций средствами ФОС основаны на математических моделях, позволяющих объективизировать процедуру оценивания трудности ФОС и уровня подготовленности студентов.

Модель Раша (логистическая, однопараметровая)[5,6]

$$p = \frac{s}{s+t} \tag{5}$$

где s – уровень подготовленности участника тестирования; t – уровень трудности тестового задания $t \in (0;+\infty)$; p – вероятность правильного выполнения задания $p \in (0;+\infty)$.

Двухпараметрическая модель Бирнбаума:

$$p(\Theta / \delta = \delta_o, d) = \left(1 + e^{-d(\Theta-\delta)}\right)^{-1} \tag{6}$$

где d – параметр дискриминации.

Трехпараметрическая модель Бирнбаума

$$p(\Theta / \delta = \delta_o, d, c) = c + (1-c) \times \left[1 + e^{-d(\Theta-\delta)}\right]^{-1} \tag{7}$$

где c – параметр угадывания; d – параметр дискриминации.

Предложенные инструментальные средства позволяют проводить комплексную оценку сформированности компетенций с учетом сравнения результатов сформированности компетенций различными шкалами оценивания и приведения их к единым измерителям.

В оценке качества подготовки специалистов важно обеспечить достоверность оценивания качества подготовки в организационно-технологическом и экспертно-аналитическом аспектах. Предложенные инструменты сравнения оценок, сделанных в разных шкалах, с целью получения интегральной оценки предполагает использование разных алгоритмов допустимых преобразований оценок. В действующих стандартах образования данная задача является актуальной и позволит формировать комплексную достоверную оценку подготовки специалистов.

Библиографический список

1. *КазариноваН.Л., Шевчук И.С.* Модель формирования комплексной системы оценочных средств в образовательных программах /Н.Л. Казаринова, И.С. Шевчук//Пермская государственная сельскохозяйственная академия им. Академика Д.Н. Прянишникова: Агротехнологии XXI века: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Агротехнологии XXI века»[посвящ. 85-летию основания ПГСХА, 150-летию со дня рожд. акад. Д.Н. Прянишникова: материалы], 11–13 ноября 2015 г. Ч 3: в 4 ч. : / науч. редкол. Ю.Н. Зубарев [и др.]. – Пермь: Изд-во ИПЦ «Прокростъ», 2015.– с. 144-149.
2. *Челышкова М.Б.* Оценивание компетенций в образовании [Текст]: учебное пособие / М.Б. Челышкова, В.И. Звонников, О.В. Давыдова / Государственный университет управления, УМО по образованию в области менеджмента; под ред. В.И. Звонникова. – М.: ГУУ, 2011. – 229 с.

3. *Пермяков О.Е., Менькова С.В.* Диагностика формирования профессиональных компетенций. – М.:ФИРО, 2010. – 114 с.
4. *Звонников, В. И.* Контроль качества обучения при аттестации: компетентностный подход / В. И. Звонников, М. Б. Челышкова. – М. : Логос : Унив. кн., 2010. – 993 с.
5. *Rasch G.* Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests / G. Rasch. – Copenhagen, Denmark: Danish Institute for Educational Research, 1960.
6. Rasch Models. Foundations, Resent Developments and Applications. EditorsFischer G. H., MolenaarI.W. Springer, 1997.

TOOLS OF COMPARISON OF SCALES OF ESTIMATION OF SFOMIROVANNOSTI OF COMPETENCES

Kazarinova Natalya L, Shevchuk Irana S

Perm state agricultural academy, 614000, Russia, Perm, Petropavlovskaya St., 23,
prmkazarinova@bk.ru

Abstract: In article the organization of funds of estimated means and formation of scales of estimation of competences according to the educational standard is considered. Staging of formation of an assessment of competence causes use of various scales of estimation of competences. Approaches to an assessment of stages of formation of competence, groups of competences and an assessment of formation of a complex of competences with application of different scales of estimation (five-point, ten-mark, hundred-mark, etc.) taking into account compliance of an assessment in any scale of estimation are offered. As tools of an assessment the mathematical models allowing to objectification procedure of estimation of difficulty of funds of estimated means and level of readiness of students are considered. Criteria of comparison of results of different scales, approach to unification of results of an assessment are considered. The offered tools allow to compare estimation scales at a complex assessment of formation of competences.

Key words: funds of estimated means, competences, competence, tools, estimation scale, Russia model, Birnbaum's model, compound assessment.

УДК 378+517.31

ОБ ОДНОЙ ПОУЧИТЕЛЬНОЙ ОШИБКЕ В КЛАССИЧЕСКОМ УЧЕБНИКЕ[1]

Кантор Елена Валентиновна

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

Кантор Григорий Яковлевич

Институт биологии Коми ЦН Уральского отделения РАН, 167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28, grigory_kantor@mail.ru

При обучении студентов основам математического анализа зачастую преобладает формально-аксиоматический подход, что может служить источником серьёзных ошибок даже при решении сравнительно простых задач. Это особенно актуально для студентов тех специальностей, в которых математика является не самостоятельной целью обучения, а эффективным рабочим инструментом. Полезным методическим приёмом может быть акцентирование прикладного смысла изучаемых математических операций на примерах из предметных областей, близких студентам, а также наглядная геометрическая или графическая интерпретация решения, что способствует предотвращению грубых ошибок. В частности, при изучении темы "Неопределённый интеграл" полезно до проведения формальных преобразований качественно оценить ожидаемый результат на основании анализа свойств подынтегрального выражения (нули функции, экстремумы, разрывы, асимптоты и т.д.).

Ключевые слова: интеграл, первообразная, ошибка

Глубокое изучение основ интегрального исчисления необходимо будущим инженерам для понимания реальных процессов, происходящих в природе и технике, физических принципов работы машин и механизмов, создания программ эффективного и безопасного управления этими машинами и механизмами.

Для многих поколений российских студентов настольной книгой при изучении основ высшей математикиявляется "Сборник задач и упражнений по математическому анализу" Б.П. Демидовича. Книга выдержала не один десяток изданий, и, казалось бы, неизбежные в таких больших и ёмких произведениях ошибки и опечатки давно должны были быть обнаружены и исправлены. Тем более удивительно было наткнуться на ошибочное решение очень простой задачи, которое воспроизводилось во многих стереотипных изданиях, а когда ошибка была обнаружена, решение было заменено другим, тоже ошибочным.

Речь идёт о задании № 1648 – найти неопределённый интеграл $\int \sqrt{1-\sin 2x}dx$.

[1] Публикация подготовлена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 02-01-00701 и 03-01-06350-МАС) и Американского Фонда Гражданских Исследований и Развития (грант РЕ-009-0).
© Кантор Е. В., Кантор Г.Я., 2016 г.

Как стал бы решать этот пример типичный средний студент? Очевидными тригонометрическими преобразованиями подкоренное выражение приводится к квадрату двучлена: $1-\sin 2x=\cos^2 x+\sin^2 x-2\sin x\cos x=(\cos x-\sin x)^2$, откуда следует

$$\int\sqrt{1-\sin 2x}dx=\int\sqrt{(\cos x-\sin x)^2}dx=\int(\cos x-\sin x)dx=\sin x+\cos x+C.$$

Сверяемся с ответом и находим (в первых изданиях): $(\sin x+\cos x)\cdot\operatorname{sgn}(\cos x-\sin x)$ [1]. Что мы сделали не так? Наша ошибка вполне очевидна и типична для рядового студента – мы сочли, что $\sqrt{x^2}=x$, в то время как правильно $\sqrt{x^2}=|x|=x\cdot\operatorname{sgn}(x)$. Отсюда и следует приведённый в задачнике ответ. Между тем он очевидно ошибочен.

Рассмотрим график подынтегральной функции (рис. 1).

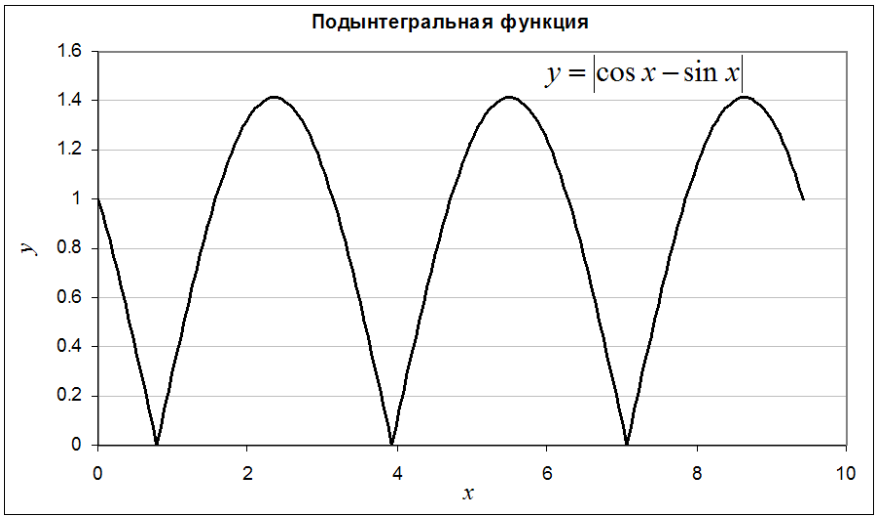


Рис. 1. График подынтегральной функции из задания № 1648

Функция $y=|\cos x-\sin x|$ непрерывна и принимает только неотрицательные значения. Первообразная такой функции – гладкая монотонно неубывающая функция, в то время как приведённое в задачнике решение периодично и к тому же разрывно (рис. 2).

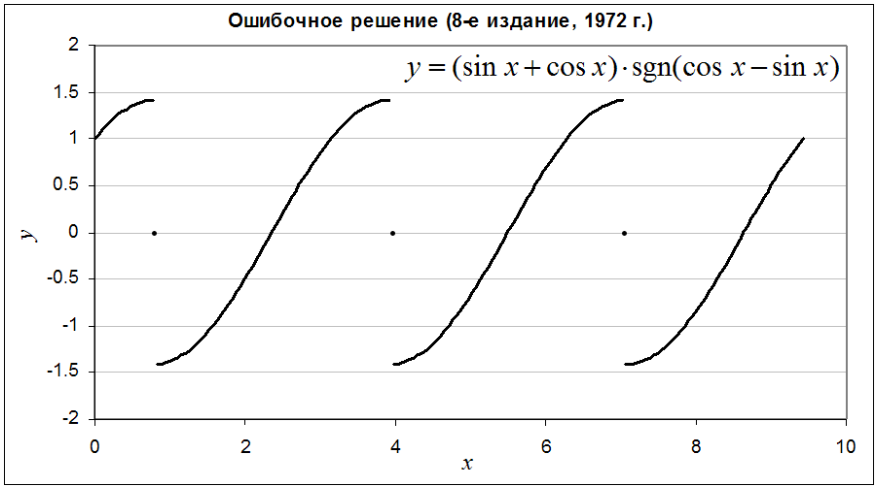


Рис. 2. График первообразной из ответа к заданию № 1648 (8-е издание)

В последующих изданиях была предпринята попытка исправить явную ошибку. Так, в 13-м издании 1997 г. [2] приведено следующее решение задания № 1648:

$$2\sqrt{2}\left[\frac{t}{\pi}\right]+\sqrt{2}\,\mathrm{sgn}(t)\cdot\left\{\cos\frac{t}{\pi}-\cos t\right\},\ \text{где}\ t=x-\frac{\pi}{4}.$$

График этой "функции" приведён на рис. 3.

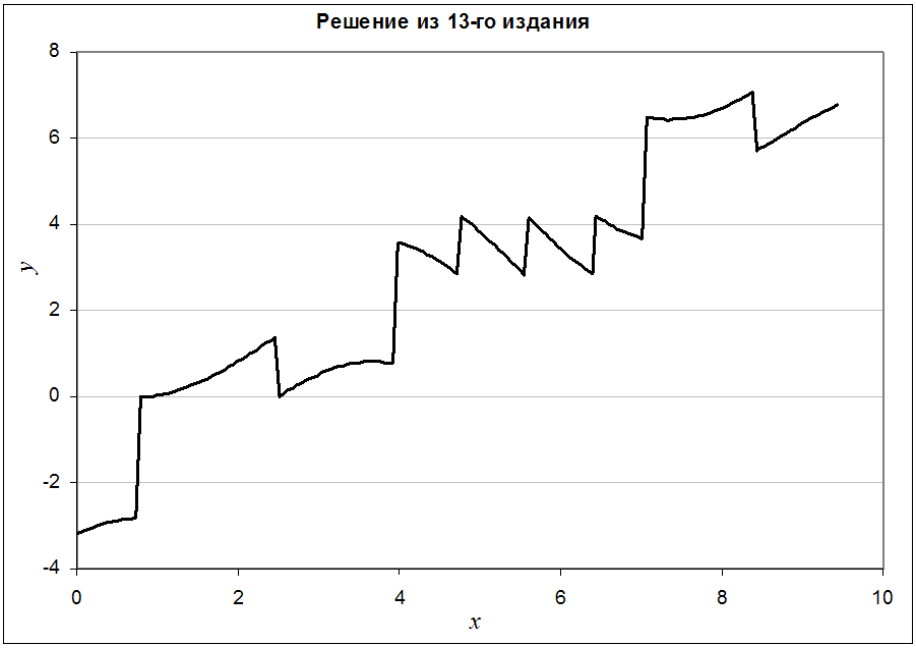


Рис. 3. График первообразной из ответа к заданию № 1648 (13-е издание)

Как говорится, без комментариев. Между тем, ошибок можно было легко избежать, если бы перед началом формальных преобразований была произведена качественная оценка ожидаемого результата. Подынтегральная функция периодична с периодом π. В пределах каждого периода функция представляет собой положительную полуволну синусоиды с амплитудой $\sqrt{2}$. Интеграл от такой функции – монотонно возрастающий отрезок косинусоиды с полным размахом (двойной амплитудой) $2\sqrt{2}$, как на рис. 2. Поскольку первообразная должна быть непрерывной функцией, каждый последующий фрагмент косинусоиды должен быть сдвинут вверх по вертикальной оси на $2\sqrt{2}$ относительно предыдущего. С учётом этих соображений, а также тождества $\cos x-\sin x=-\sqrt{2}\sin\left(x-\frac{\pi}{4}\right)$ можно сразу записать правильный ответ:

$$y=2\sqrt{2}\left[\frac{t}{\pi}\right]-\sqrt{2}\cos\left(\pi\left\{\frac{t}{\pi}\right\}\right)+\tilde{N},\ \text{где}\ t=x-\frac{\pi}{4},\ C-\text{произвольная константа.}$$

График этой функции при $C = 0$ показан на рис. 4.

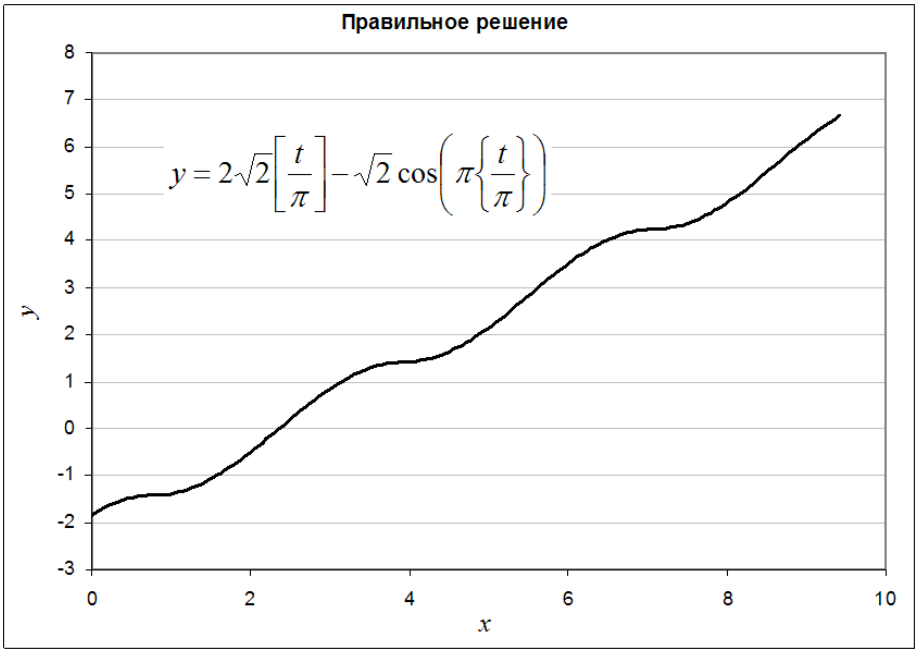


Рис. 4. График неопределённого интеграла $y = \int \sqrt{1 - \sin 2x}\,dx$

В связи с рассмотренным примером резонно обсудить вопрос о целесообразности использования компьютеров при изучении основ математического анализа. С одной стороны, компьютеры очень существенно облегчают и ускоряют выполнение технической части работы. Например, убедиться в ошибочности ответа на упражнение № 1648 в 13-м издании задачника Демидовича без компьютера почти нереально. С другой стороны, невозможно удержать студентов от соблазна для решения заданий по математическому анализу пользоваться программами символьного дифференцирования и интегрирования типа MathCAD. На самом деле проблема ещё шире – многие преподаватели даже ведущих московских вузов столкнулись с тем фактом, что в последние годы выпускники средней школы не знают элементарной таблицы умножения. Когда у каждого студента в кармане лежит микрокалькулятор или смартфон, в этом, казалось бы, уже нет необходимости. Тем не менее, без навыков беглого устного счёта серьёзное изучение высшей математики попросту невозможно. Компьютер – это мощнейший инструмент с огромным дидактическим потенциалом, но при неумелом его использовании он может принести больше вреда, чем пользы. Это относится не только к математике. Получающая всё большее распространение тенденция замены реальной практической и экспериментальной работы компьютерными эмуляторами скорее ведёт к профессиональной деградации, чем к творческому росту.

Возвращаясь к основной теме статьи, любопытно отметить следующий факт. На Интернет-ресурсе "Антидемидович" решение задания № 1648 отсутствует. Очевидно, авторы сайта пытались получить приведённый в задачнике ошибочный ответ (разумеется, безуспешно) и, не найдя, просто пропустили этот пример. Кстати, в так называемом

решебнике "Китайский Антидемидович" (на китайском языке) приведено то же самое разрывное периодическое решение из первых изданий советского учебника.

По нашему мнению, подробный разбор подобных примеров со студентами был бы очень полезен во многих отношениях. Во-первых, он наглядно показывает, что даже весьма авторитетные источники не застрахованы от случайных ошибок, подчас просто курьёзных, и глубокое уважение к авторитетам никак не отменяет необходимости критического осмысления "очевидных истин". Во-вторых, он приучает к внимательному отношению к внешне простым задачам, которые могут содержать неожиданные "ловушки". В-третьих, крайне желателен постоянный самоконтроль, и здесь применение компьютеров абсолютно оправдано. В сомнительных случаях простое построение графика средствами Excelили MathCAD, занимающее считанные секунды, позволяет обнаружить ошибку в случае её возникновения.

Библиографический список

1. *Демидович Б.П.* Сборник задач и упражнений по математическому анализу. 8-е изд., стереотипное. М.: Наука, 1972.
2. *Демидович Б.П.* Сборник задач и упражнений по математическому анализу. 13-еизд., испр. М.: ЧеРо, 1997.

ABOUT ONE EDIFYING ERROR IN THE CLASSIC TEXTBOOK

KantorElenaV.

VyatkaStateUniversity, Moskovskaya st., 36, Kirov, Russia, 610000, kantor_ev@mail.ru

KantorGrigoriy Ya.

Institute of Biology, KomiSC of Ural Division RAS, Kommunisticheskaya st. 28, Syktyvkar, Russia, 167982, grigory_kantor@mail.ru

When teaching students the basics of mathematical analysis formal axiomatic approach is often dominated, which can be a source of serious errors even in the solution is relatively simple tasks. This is especially true for students of those professions in which mathematics is not the purpose of training but it is a working tool. The emphasis on applied sense of mathematical operations to study the examples of the subject areas that are close to students can be an effective instructional technique. Also visual geometric or graphic interpretation of solutions helps to prevent blunders.In particular, in the study of the topic "Indefinite integral" it is useful before the formal transformations qualitatively evaluate the expected result based on an analysis of the integrand properties (function zeros, extremes, gaps, asymptotes etc.).

Key words: integral, primitive function, error

УДК 378

К СТРУКТУРЕ ВЗАИМОСВЯЗИ КУРСОВ ДИСЦИПЛИН ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАТИКИ В ВУЗЕ

Лопатин Алексей Андреевич, Чечулин Виктор Львович

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

Аннотация: рассмотрена структура курсов преподавания дисциплин фундаментальной информатики, которая определяется общегносеологическими закономерностями, т.е., определяет соподчиненную взаимосвязь и порядок преподавания основных дисциплин студентам направлений «Фундаментальные информатика и информационные технологии», «Прикладная математика и информатика».

Ключевые слова: информатика, преподавание информатики, периодизация развития логики, взаимосвязь курсов дисциплин информатики, структура курсов дисциплин информатики.

В работе [1] была рассмотрена структура периодизации развития логики:

1. Первоначальное формирование понятий о чувственно-воспринимаемых образах, возникновение письменности (1 тыс. л. до н. э.)

2. Возникновение осознанного представления об элементах языка, формирование логики объёмов понятий (IV в. до н. э.).

3. Возникновение логики суждений, осознание грамматических категорий, появление модальной логики (III в. до н.э. – IX в.).

4. Стадия оперирования абстрактно-определимыми понятиями (например, сила, скорость и т. п.) и осознанное применение гипотетических рассуждений (XVI в.). Абстрактное определение понятия обобщает множество силлогизмов, включающихся в определение термина. Расширяются представления о модальной логике, имеются первоначальные представления о многозначной логике.

5. Осознанное определение понятия об алгоритме возникает в первой половине XIX в., с разницей от гипотетического мышления предыдущей стадии (не осознающего конечной цели построения гипотез и открытия законов), осознающего конечную цель логического построения, взаимосвязь множества отдельных законов, гипотез. С возникновением понятия об алгоритме связано появление отвлечённого понятия о формальной (аксиоматической) системе, теории. На этом же этапе осознаётся ограниченность формальных теорий, следующая из теорем Гёделя.

6. При обобщении множества теорий в практике применения теоретического знания, осознании взаимосвязи физических, биологических и социальных процессов, требующих анализа ценности и значимости конечных целей (отчасти процессы глобализации и экологизации) и окончательном оформлении вероятностного мышления (с сер. XX в.), — эта стадия развития логики научного знания

© Лопатин А.А., Чечулин В. Л., 2016 г.

наблюдается в современности (нач. XXI в.). На этой стадии появляются непредикативные конструкции.

Однако для 5 уровня имеется система гносеологически обусловленных подуровней. В [2] рассмотрены эти подуровни для методов оптимизации, теории вероятности и формальных систем.

Аналогичная последовательность подпериодов выделяема и в развитии оснований теории программирования:

1. Неформализуемое использование логики в математических построениях и доказательствах (до середины XIX в.)

2. Формализация процедур доказательств, логика, правила вывода (де-Морган, Фреге, Генцен и пр.) (с середины XIX в.).

3. Формализация подстановок в лямбда-исчислении (середина XX в.).

4. Формальные грамматики, формализующие функциональные отношения между элементами искусственного языка; языки программирования низкого уровня (со второй половины XX в.).

5. Языки программирования среднего и высокого уровней (интерпретаторы, компиляторы как переводчики из формальной грамматики языка среднего и высокого уровней в формальные грамматики языков низкого уровня, аппаратно связанных с ЭВМ) (с 60-х гг. XX в.).

Эти уровни соответствуют уровням развития причинности:

1. Синкретизм (нет понятия о причинно-следственных связях)

2. Ближайшая причина (в логическом выводе)

3. Последовательность однородных причинно-следственных связей (например, β-редукция в лямбда-исчислении)

4. Причинность, аппаратно обусловленная архитектурой ЭВМ, а также обусловленная человеком, который вычисляет что-либо на ЭВМ, пользуясь языком программирования низкого уровня.

5. Язык высокого уровня используется массой пользователей для решения однотипных задач.

Исходя из этих периодов, предлагается следующее примерное распределение и порядок преподавания курсов дисциплин информатики и информационных технологий (здесь не учитываются гуманитарные, естественнонаучные дисциплины, не имеющие отношения к математике и информатике (философия, психология и пр.)) по периодам обучения студентов:

1 курс: общематематические дисциплины (математический анализ, алгебра, аналитическая геометрия, численные методы, и т.п.)

2 курс: дисциплины, связанные с логикой и формальными методами (дискретная математика, математическая логика, теория алгоритмов, λ-исчисление, формальные грамматики и языки, алгоритмы, и т.п.)

3 курс: теория программирования, построение компиляторов (язык программирования ассемблер и другие языки низкого уровня, операционные системы, языки программирования, методы трансляции и т.п.).

На 3 и 4 курсах также, как правило, начинаются различные спецкурсы, связанные со специализацией студентов и специальными знаниями в рамках того или иного направления (программная инженерия, компьютерная графика и пр.).

Дисциплины определённого курса обучения целесообразно начинать изучать только после освоения дисциплин предыдущих курсов, т.к. согласно гносеологически обусловленным подпериодам полное понимание и освоение студентами курсов становится затруднительным при неимении базовых знаний дисциплин с предыдущих курсов.

Библиографический список

1. *Чечулин В. Л.*История математики, науки и культуры (структура, периоды, новообразования). Монография, Пермь, 2013.
2. *Чечулин В. Л.*История математики и её методологии(структуры и ограничения). Монография, Пермь, 2015.

TOSTRUCTUREOFINTERRELATION OF COURSES OF DISCIPLINES OF FUNDAMENTAL INFORMATICS IN UNIVERSITIES

Chechulin Viktor L., Lopatin Alexey A.

PermStateUniversity, st. Bukireva, 15, Perm,Russia, 614990, lopatin_a_a@mail.ru

Abstract: in this article it`s reviewed the structure of courses of teaching disciplines of fundamental informatics which is defined by all-gnoseological regularities is considered, that is defines the coordinated interrelation and an order of teaching the main disciplines to students of the directions "Fundamental Informatics and Information Technologies", "Applied Mathematics and Informatics".

Key words: informatics, teaching informatics, periodization of development of logic, interrelation of courses of disciplines of informatics, structure of courses of disciplines of informatics.

УДК 514.11

ИЗУЧЕНИЕ ЛИНИЙ ВТОРОГО ПОРЯДКА В ОСНОВНОЙ ШКОЛЕ

Назарова Ирина Игоревна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Пушкина, 42, irina.nazarova93@gmail.com

Аннотация: В статье «Изучение линий второго порядка в основной школе» представлен анализ трех школьных учебников по алгебре А.Г. Мордкович, Ш. А. Алимов и Г.В. Дорофеев, в котором описан тематический план изучения линий второго порядка, результаты анализа изложены в таблице №1. Также представлены основные требования ФГОС, в которых содержатся основные критерии, которыми должен овладеть учащийся после изучения материала. Есть апробация данной темы, был проведен мастер-класс для первого курса математического факультета «Изонить и ЛВП», на котором мы познакомили студентов с линиями второго порядка и декоративно-прикладным искусством «Изонить», показали практическое применение математических знаний в искусстве. Проанализировав все полученные результаты, пришли к выводу, что н6едостаточное количество часов в школьной программе, приводит к тому, что учащиеся мало знают про линии второго порядка, решением данной проблемы может являться создание элективного курса, который будет направлен на углубление знаний учащихся и практическое применение знаний.

Ключевые слова: линии второго порядка, элективный курс

Обязательной и неотъемлемой частью учебного процесса, в том числе и изучение линий второго порядка, является тематическое планирование и учебники.Изучение материала, касающегося линий второго порядка в школьном курсе алгебры начинается с 8-9 класса, где данной теме уделяется 16 часов, ноизучение свойств и способов построения линий второго порядка в школьном курсе математики не предусмотрено.

Проанализировав содержание тем, касающихся «Линии второго порядка» в школьном курсе алгебры трех авторов: А.Г. Мордкович[7-9], Ш. А. Алимов[1-3] и Г.В. Дорофеев[4-6], было выявлено, что изложение теоретического материала наиболее полно раскрыто у Г.В. Дорофеева, ноон больше связан с геометрической интерпретацией соответствующих функций. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1.Содержание темы «Линии 2го порядка» в школьных учебниках.

Линии второго порядка			Алгебра, автор А. Г. Мордкович	Алгебра, автор Ш. А. Алимов, Ю. М. Колягин.	«Математика: Арифметика. Алгебра. Анализ данных», автор Г. В. Дорофеев, С. Б. Суворова.
Функция $y = x^2$	• с какого класса узнают	с 7-го	+		
		с 8-го		+	+
		с 9-го			

© Назарова И.И., 2016 г.

	• название		+	+	+
	• исследования свойств по уравнению		+	+	+
	• построение графика:		+	+	+
	– по точкам		+	+	+
	– по свойствам		-	-	-
	– методом преобразований		-	-	-
Функция $y = ax^2$	• с какого класса узнают	с 7-го			
		с 8-го	+	+	
		с 9-го			+
	• название		+	+	+
	• исследования свойств по уравнению		+	+	+
	• построение графика:		+	+	+
	– по точкам		+	+	+
	– по свойствам		+	+	+
	– методом преобразований		-	-	-
Функция $y = ax^2 + bx + c$	• с какого класса узнают	с 7-го			
		с 8-го	+	+	
		с 9-го			+
	• название		+	+	+
	• исследования свойств по уравнению		+	+	+
	• построение графика:		+	+	+
	– по точкам		+	+	+
	– по свойствам		+	+	+
	– методом преобразований		+	+	+
Функция $y = \frac{k}{x}$	• с какого класса узнают	с 7-го			+
		с 8-го	+		
		с 9-го		+	
	• название		+	+	+
	• исследования свойств по уравнению		+	+	+
	• построение графика:		+	+	+
	– по точкам		+	+	+
	– по свойствам		-	-	-
	– методом преобразований		-	-	-

В то же время в соответствии с ФГОС учащиеся по окончании изучения материала должны овладеть: геометрическим языком; умениями использовать его для описания предметов окружающего мира; знаниями о плоских фигурах и их свойствах; умениями применять изученные понятия, результаты, методы для решения задач практического характера [10]. Поскольку в рамках ШКМ линии второго порядка целенаправленно не

изучаются, то знакомство с ними может быть организовано посредством элективного курса. Разработанный нами элективный курс «Линии второго порядка» (ЛВП)создан для реализации в основной школе, для углубления знаний учащихся по теме, показать применение математики в искусстве.

Цель курса состоит в формировании представлений о математике как теоретической базе создания произведений декоративно-прикладного искусства.

Задача курса:

- расширить представления учащихся о сферах применения математики;
- расширить математические знания учащихся (эллипс, гипербола, парабола);
- расширить общекультурный кругозор учащихся;
- показать практическую необходимость владения математикой.

Решение данных задач поможет сформировать положительную мотивацию у учащихся к изучению математики, а также понимание практической значимости математики.

Предлагаемый курс соответствует:

- требованиям ФГОС;
- целям математического образования в основной школе;
- целям общего образования.

Отражение ФГОС в элективном курсе «Линии второго порядка» представлены в таблице 2.

Таблица2. Отражение ФГОС в элективном курсе «Линии второго порядка»

Требование ФГОС	***Занятие 1. Построение эллипса***	***Занятие 2. Построение параболы***	***Занятие 3. Мастер-класс «Изонить»***	***Занятие 4. Итоговое***
Овладение геометрическим языком	+	+	+	+
Формирование знаний о плоских фигурах и их свойствах	+	+	–	+
Решения геометрических и практических задач	+	+	+	+
Развитие умений применять изученные понятия, результаты, методы для решения задач практического характера и задач из смежных дисциплин	+	+	+	+
Ставить и формулировать для себя новые задачи в учёбе и познавательной деятельности	+	+	+	+
Умение определять понятия	+	+	+	+
Формирование и развитие компетентности в области использования информационно-коммуникационных технологий	+	–	–	+

Курс «Линии второго порядка» содержит три типа занятий: изучение свойств линий и различных способов построения, практическое применение – выполнение работ в технике

«изонить», итоговое занятие, на котором происходит геометрическая защита выполненных в технике «изонить» работ. Итогами элективного курса может служить выставка.

Работа прошла частичную апробацию. По результатам исследования, в ноябре 2015 года, был проведен мастер-класс «Изонить и ЛВП» для первого курса математического факультета ПГГПУ. Целью мастер-класса являлось проверить знания первокурсников по линиям второго порядка и показать их прикладное применение в декоративно-прикладном искусстве. Во время проведения мастер-класса, оказалось, что линии второго порядка известны лишь как графики квадратичной и дробно-рациональных функций, про их свойства и способы построения ничего первому курсу не было известно. Зато на практической части, когда им было предложено выполнить работу в технике изонить, все с удовольствием приняли участие. Со стороны участников были получены положительные отзывы: «Было интересно, казалось бы, такая математическая тема была преподнесена в доступной творческой форме»; «Мастер-класс очень занимательный, и прошёл, на мой взгляд, отлично; интересный и необычный ход занятия». С работами, которые были выполнены во время мастер-класса, можно познакомиться на кафедре высшей математики ПГГПУ.

Библиографический список

1. *Алимов Ш.А* Алгебра. Учеб. для 7 класса средней школы /Ш.А. Алимов, Ю.М. Колягин и др. – М.: Просвещение, 2000.
2. *Алимов Ш.А* Алгебра. Учеб. для 8 класса средней школы /Ш.А. Алимов, Ю.М. Колягин и др. – М.: Просвещение, 2001.
3. *Алимов Ш.А*. Алгебра. Учеб. для 9 класса средней школы /Ш.А. Алимов, Ю.М. Колягин и др. – М.: Просвещение, 2001.
4. *Дорофеев Г.В.* Алгебра. 7 класс: Учеб. для общеобразовательных учеб. заведений / К.С. Муравин, Г.К. Муравин, Г.В. Дорофеев. – М.: Дрофа, 1999.
5. *Дорофеев Г.В.* Алгебра. 8 класс: Учеб. для общеобразовательных учеб. заведений / К.С. Муравин, Г.К. Муравин, Г.В. Дорофеев. – М.: Дрофа, 2001.
6. *Дорофеев Г.В.* Алгебра. 9 класс: Учеб. для общеобразовательных учеб. заведений / К.С. Муравин, Г.К. Муравин, Г.В. Дорофеев. – М.: Дрофа, 1999.
7. *Мордкович А.Г.*Алгебра. 7 класс: В двух частях. Ч. 1: Учебник для общеобразоват. учреждений / А.Г. Мордкович. – М.: Мнемозина, 2000.
8. *Мордкович А.Г.* Алгебра. 8 класс: В двух частях. Ч. 1: Учебник для общеобразоват. учреждений / А.Г. Мордкович. – М.: Мнемозина, 2000.
9. *Мордкович А.Г.* Алгебра. 9 класс: В двух частях. Ч. 1: Учебник для общеобразоват. учреждений / А.Г. Мордкович. – М.: Мнемозина, 2000.

10. *ФГОС*[Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://минобрнауки.рф/documents/938 (Дата обращения 11.01.2016)

THE STUDY OF THE LINES OF THE SECOND ORDER IN PRIMARY SCHOOL

Nazarova Irina Igorevna

Perm State University of Humanities and Education, st. Pushkin, 42, Perm, Russia, 614990, irina.nazarova93@gmail.com

Abstract: In the article "Learning a second-order lines in the primary school" presents an analysis of three textbooks on algebra A.G Mordkovich, S.A Alimov and G.V Dorofeev, which describes the theme of the second order of the plan of studying the lines, the analysis results are presented in Table №1. Also, are the main requirements of the GEF, which contain the basic criteria which must master student after studying the material. There are testing this theme, was held a master class for the first course of the Faculty of Mathematics, "Izon and HDL", which we introduced students to the second-order lines and decorative-applied art "Izon" show the practical application of mathematical knowledge in the art.After analyzing all the results, we concluded that n6edostatochnoe number of hours in the school curriculum, leads to the fact that students do not know much about the line of the second order, the solution to this problem may be the creation of an elective course, which will be directed at deepening students' knowledge and practical application of knowledge .Keywords: second-order line, elective course.

Key words: second-order line, elective course

УДК 371.31

КЕЙС-ЗАДАНИЯ КАК СРЕДСТВО ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ СТУДЕНТОВ

Наметова Ксения Николаевна

Пермский государственный гуманитарный педагогический университет, 61400, Россия, г. Пермь, ул. Пушкина, 42, kseniyanametova@mail.ru

В статье рассматривается роль кейс-задания как средства оценивания результатов обучения математике студентов. В частности, анализируются кейс-задания, которые способствовали бы оценке специальной и профессиональной компетенции в рамках дисциплины «математический анализ». Представлены примеры подобного рода заданий, содержание которых носит прикладной характер применения производной, а решение включает в себя проблемно-ситуативный анализ.

Ключевые слова: case-study, кейс-задание, обучение математике, подзадача, ситуация, средство оценивания, результат обучения.

Модернизация российского образования в условиях перехода на ФГОС ВО требует обеспечения современного качества образования, в том числе применения новых эффективных методов контроля и оценки уровня сформированности компетенций у студентов. В связи с этим в учебный процесс внедряются новые образовательные технологии и методы обучения. К одним из них можно отнести метод case-study.

Метод case-study был создан в США. В учебном процессе он впервые был применен в школе права Гарвардского университета в 1870 г., а внедрение его началось в 1920 г. в Гарвардской школе бизнеса. В 80-х гг. кейс-метод использовали в обучении в России, советские профессора называли его «методом казусов» [2]. Проблема внедрения case-study в практику высшего профессионального образования в настоящее время, по мнению А.М. Долгорукова, является весьма актуальной, что обусловлено двумя тенденциями: первая вытекает из общей направленности развития образования, а вторая – из требований к качеству специалиста [1]. Кейс-задание представляет собой единый информационный комплекс и состоит из трех частей: вспомогательная информация, необходимая для анализа кейса, описание конкретной ситуации и задание к нему. Анализ ситуации ориентирован на возможность оптимального сочетания применения обучающимися знаний теории и приобретенного опыта практической деятельности.

В настоящее время в практике обучения существуют различные формы и модификации метода case-study. Одна из них связана с адаптацией последнего к использованию в виде

© Наметова К.Н., 2016 г.

тестовых заданий.В НИИ мониторинга качества образования реализован инновационный проект «Федеральный Интернет-экзамен: компетентностный подход» на основе автоматизированной on-line системы проверки уровня знаний, умений и навыков студентов. Система позволяет оценить учебные достижения студентов на различных этапах обучения в соответствии с новыми требованиями ФГОС. Например, новая модель педагогического измерителя для специальности «Прикладная математика» по дисциплине «Математика» представлена тремя взаимосвязанными блоками, из которых третий составляют кейс-задания [3]. Содержание последних ориентировано на применение студентом комплекса знаний и умений, позволяющих ему самостоятельно сконструировать способ решения задачи. Результат выполнения студентами подобного рода нестандартных практико-ориентированных заданий будет свидетельствовать о степени влияния процесса изучения дисциплины на формирование у студентов универсальных и профессиональных компетенций.

В этой связи важной задачей нашего исследования стала разработка кейс-заданий как средств оценивания результатов обучения математике студентов.

В частности, нами разработаны кейс-задания по дифференциальному исчислению, основное назначение которых –проверка сформированности у студентов не только специальной компетенции (СК), характеризующей освоение содержаниеданного раздела математического анализа, но и профессиональной (ПК) – связанной со способностью использовать возможности образовательной среды для достижения личностных, метапредметных результатов обучения и обеспечения качества учебно-воспитательного процесса средствами преподаваемого предмета.

Раскроем содержание некоторых кейс-заданий.

Кейс-задание 1. Объем продукции u, выпускаемой рабочим в течение рабочего дня, задается функцией $u(t) = -\frac{5}{6} \cdot t^3 + \frac{15}{2} \cdot t^2 + 100 \cdot t + 50$, где t –время, выражаемое в часах и причем $1 \le t \le 8$.

Подзадача 1. Чему равна производительность труда в момент времени $t = 2$ часа?

Подзадача 2. Чему равна производительность труда за 1 час до окончания рабочего дня?

Подзадача 3. В какой момент времени производительность труда была наибольшей?

Кейс-задание 2. Тело движется по закону $S(t) = t^3 - 3 \cdot \frac{t^2}{2} + 2 \cdot t - 1$ (м), где t –время, выражаемое в секундах.

Подзадача 1. Чему равна скорость тела в момент времени $t = 3$ секунды?

Подзадача 2. В какой момент времени тело двигалось с ускорением равным 9м/с^2?

Подзадача 3. В какой момент времени скорость тела была равна 20 м/си ускорение было равно 15 м/с^2?

Кейс-задание 3. На рис. 1 изображен график зависимости производительности труда некоторого предприятия от рабочего времени с 8 часов утра до 16 часов вечера.

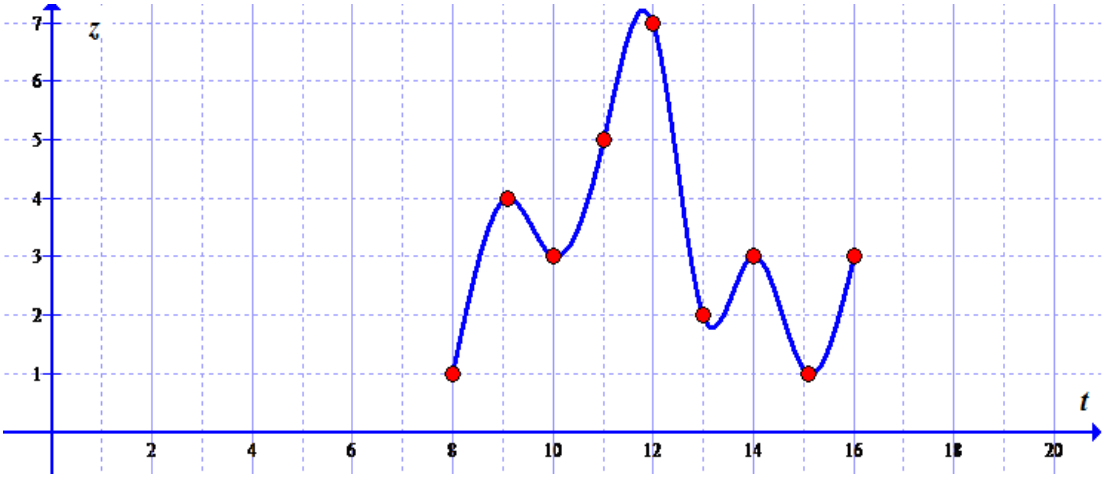


Рис. 1. Кейс-задание 3

Подзадача 1. Определите, в какой момент времени ($9 \le t \le 15$) объем выпускаемой продукции был наибольшим.

Подзадача 2. Определите, сколько раз за рабочее время скорость изменения производительности труда обращалась в ноль (начало и конец рабочего дня не учитывайте).

Подзадача 3. Определите количество точек, в которых производительность выпускаемой продукции была максимальной (начало и конец рабочего дня не учитывайте).

Рассмотрим один из способов оценивания специальных (СК) и профессиональных (ПК) компетенций у студентов по результатам выполнения приведенных кейс-заданий. В разделе «Дифференциальное исчисление» специальные и профессиональные компетенции детализированы в виде основных результатов учебно-познавательной деятельности студентов в процессе математической подготовки.

Детализация СК: знание определения и свойств понятия «производная», правил решения типовых задача по нахождения производной функции, алгоритмов исследования функции с помощью производной; умение применять производную для решения прикладных задач, используя ее геометрический и физический смысл; способность к анализу информации и выбору необходимых для этого методов и средств математического анализа.

Детализация ПК: способность использовать основные знания теории «Дифференциального исчисления» в профессиональной деятельности, интегрировать знания из различных разделов курса математического анализа.

Каждая подзадача кейс-задания имеет свой балл в соответствии с уровнем сложности, в зависимости от суммы набранных баллов оценивается уровень сформированности СК и ПК.

Приведем методику оценивания компетенций на примере кейс-задания 1. Его выполнение предусматривает владение следующими знаниями и умениями, составляющими рассматриваемые специальные и профессиональные компетенции (табл. 1):

Таблица 1. СК и ПК кейс-задания 1.

Кейс-задание 1	**Детализация специальной и профессиональной компетенции**
Детализация специальной компетенции	
Подзадача 1 Подзадача 2 Подзадача 3	Знать понятие производной, понятие производной функции в точке, правила, формулы и свойства операции дифференцирования, механический смысл производной; способность анализировать условие задачи и знание возможности использования производной при решении прикладной задачи.
Подзадача 3	Знать алгоритмы применения производной к исследованию функции.
Детализация профессиональной компетенции	
Подзадача 1 Подзадача 2 Подзадача 3	Способность использовать основные знания теории «Дифференциального исчисления» в профессиональной деятельности, интегрирования знаний из различных разделов курса математического анализа.

По сумме полученных студентом баллов за выполнения задания (табл. 2), выраженной в процентном отношении от максимально возможной, определяется уровень сформированности компетенций в соответствии с критерием: 60 – 79 % - базовый уровень, 80 – 100 % - повышенный. Если учащийся выполняет несколько кейсов, процентное соотношение определяется аналогично для общего количества набранных баллов.

Таблица 2. Оценка кейс-задания 1.

Кейс-задание 1	**Уровень сложности**	**Количество баллов**
Подзадача 1	I	2
Подзадача 2	II	3
Подзадача 3	III	4

Таким образом, кейс-задания – это не только метод обучения, но и средство оценки его результатов, позволяющее проверить уровень сформированности компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Библиографический список

1. *Гасанова С.С.* Кейс – технология в практике высшего образования/ С.С. Гасанова// Управление инновациями: теория, методология, практика. – 2013, №7. – С. 153 – 157.

2. *Бояркина Л.А., Ледак Л.П.* Кейс – технологии как современное средство контроля качества обучения / Л.А. Гасанова, Л.П. Ледак// Проблемы и перспективы развития образования в России. – 2012, №14. – С. 78 – 82.
3. *Федеральный* Интернет – экзамен в сфере профессионального образования: компетентностный и традиционный подход [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://fepo.i-exam.ru. (датаобращения: 1 февраля2016 г.).

CASE ASSIGNMENTS AS A MEANS OF ASSESSING LEARNING OUTCOMES MATHEMATICS STUDENTS

Nametova Ksenia Nikolaevna

Perm state humanitarian pedagogical University, 61400, Russia, Perm city, Pushkina ul, 42, kseniyanametova@mail.ru

The article discusses the role of case assignment as a means of assessment of learning outcomes mathematics students. In particular, analyses of case assignment, which would contribute to the assessment of the special and professional competence within the discipline "mathematical analysis". Examples of this kind of jobs, the content of which is of applied nature to use the derivative, and the solution includes problem-situation analysis.

Key words: case-study, case-task, sub-task, the situation, an assessment tool, the learning outcome.

УДК 514

ПЕРВЫЕ ШАГИ ВО ФРАКТАЛЬНУЮ ГЕОМЕТРИЮ

Проничева Светлана Александровна

МБОУ «Гимназия №17», 614000, Россия, г. Пермь, ул. Ленина, 31, sa.pronicheva@gmail.com

Шеремет Галина Геннадьевна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 24,sheremet@perm.ru

В статье представлено описание программ, разработанных для наглядного введения во фрактальную геометрию. Эти программы позволяют получать изображения геометрических фракталов на основе формул аффинных преобразований, переводящих исходный объект в одну из его частей. Представлено два основных подхода: итерации и игра «Хаос». Разработанное программное обеспечение позволяет визуализировать фрактальные множества, экспериментировать с их построением, изучать свойства.

Ключевые слова: фрактальная геометрия, аффинные преобразования

За минувший век в математике произошли грандиозные изменения, она как и все другие науки, шагнула необыкновенно далеко вперед. Математические методы стали более общими и разнообразными, модели природных явлений, технических процессов, общественных ситуаций стали полноценнее, точнее и надежнее. В математической науке содержательно изменилось почти все. Но есть целый ряд важных понятий, имеющих математическое и общекультурное значение, одним из которых является понятие фрактала.

Фрактальная геометрия имеет большое значение в различных областях научной деятельности, несмотря на свое недавнее возникновение. Вы можете обнаружить их в лесах, столкнуться с ними на передовых рубежах медицинской науки. Вы найдете их везде, где есть беспроводная связь, в биологии они встречаются на каждом шагу. Эти формы часто оказываются оптимальными, что подтверждается естественным отбором. Фракталы есть в наших легких, почках и кровеносных сосудах. Цветы, деревья, другие растения, все то, что формирует погоду и даже ритмы нашего сердца.

Одна из первых фрактальных кривых была придумана шведским математиком Хельге Фон Кохом (1870 – 1924). Он говорил, что если начать с равностороннего треугольника, одной из распространенных фигур классической геометрии. Каждую его сторону разделить на три части и среднюю заменю двумя равными ей отрезками, затем с каждым из полученных отрезков поступить так же и проделать это снова, снова и снова[6]. Форма будет оставаться прежней, но теперь на каждом отрезке будет треугольный бугорок. Если

© Проничева С.А., Шеремет Г.Г., 2016 г.

продолжить ломать и изгибать эту фигуру, то ломаная будет все длиннее, и при каждом новом шаге будут появляться новые треугольники. Представьте себе, что этот процесс добавления отрезков повторяется бесконечно много раз; тогда, в конце концов, у вас получиться нечто бесконечно длинное[1]. Кривая Коха является парадоксальной в том смысле, что кажется нам вполне обычной конечной кривой, но с математической точки зрения длина её бесконечна, то есть не может быть измерена. В свое время её назвали патологической кривой, ведь было не понятно, как к ней применить какие-либо способы измерения и законы Евклидовой геометрии[2].

Построить такие кривые можно путем бесконечного повторения и это повторение приводит к одной из главных характеристик фрактала – самоподобию[4]. Основная идея состоит в том, что при приближении объекта он продолжает выглядеть по-прежнему. Фрактал имеет в точности такой же вид, как любой его фрагмент, как фрагмент сколь угодно малого размера. Это подобие фрагментов сохраняется при любом изменении масштаба. Это самоподобие заметно повсюду: в форме стеблей брокколи, в форме поверхности луны, в ветвлении артерий, снабжающих кровью наш организм.

В книге «Фрактальная геометрия природы»[7] Мандельброт утверждал, что его вычисления могут применяться при описании огромного количества природных явлений: от изменения русла рек до движения облаков. И рост живых систем также оказался в центре внимания. Один из ярких примеров такого рода – это ритм нашего сердца, оказалось, что он тоже имеет фрактальную структуру. Кардиолог из Бостона Ари Голбергер обнаружил, что ритмы сердца здорового человека имеют выраженную фрактальную структуру и в будущем это сможет помочь кардиологам быстрее выявлять различные сердечные заболевания. Исследования проводились, а так же осуществлялись и в других областях[8]. Фракталы используют, чтобы открыть принципы работы глаза, физиологи – для изучения балансировки человеческого тела, биофизики считают, что фракталы являются практическим методом построения математических моделей, которые смогут помочь в ранней диагностике раковых заболеваний.

Построить фрактальный объект, можно с помощью сжимающих аффинных преобразований, таких как масштабирование, поворот и параллельный перенос[5].Например Салфетка Серпинского (рис.1) задается с помощью трех линейных преобразований: $f_1(z)=\frac{1}{2}z$, $f_2(z)=\frac{1}{2}z+\frac{1}{2}$, $f_3(z)=\frac{1}{2}z+\frac{1}{4}+i\sqrt{\frac{3}{4}}$.

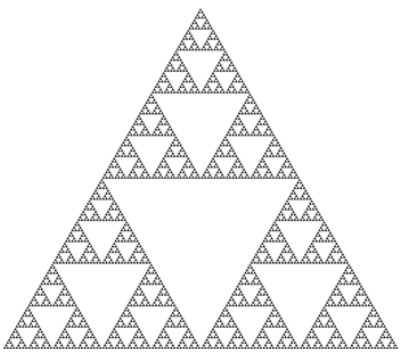


Рис. 1. Салфетка Серпинского

Но чтобы построить этот и любой фрактал нужно

выполнить большое число итераций(повторений), которые можно просчитать с помощью программ.

Программа «Fractal_curve» создана с целью построения определенного класса фрактальных кривых. В качестве исходных данных вводятся координаты базовой кривой в пределе 10 точек, и системы геометрических преобразований (до пяти), причем учитываются функции двух переменных. Сначала программа строит исходную кривую по точкам, затем ее образ, подвергнутый определенному количеству итераций. Примером может служить процесс построения снежинки (рис.2).

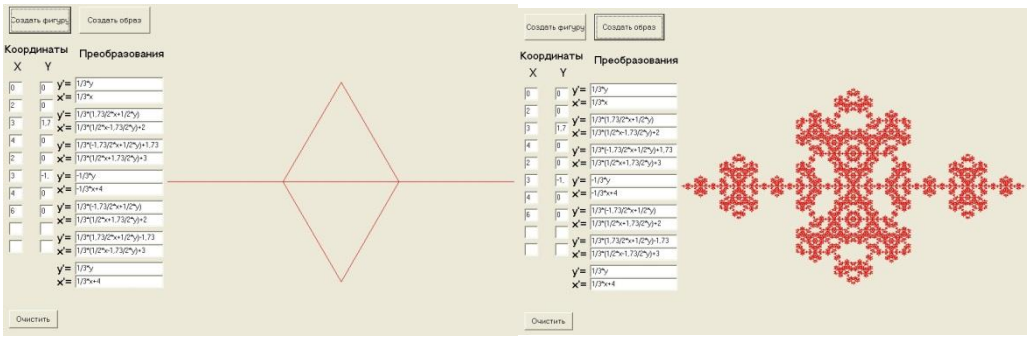


Рис. 2 Процесс построения снежинки

Для снежинки Коха необходимо задать семь преобразований: $f_1:\begin{cases} y'=\frac{1}{3}y \\ x'=\frac{1}{3}x \end{cases}$ $f_2:\begin{cases} y'=\frac{1}{3}y \\ x'=\frac{1}{3}x+4 \end{cases}$

$f_3:\begin{cases} y'=\frac{1}{3}(\sin(1{,}04)\ x+\cos(1{,}04)y) \\ x'=\frac{1}{3}(\cos(1{,}04)\ x-\sin(1{,}04)y)\ +2 \end{cases}$ $f_4:\begin{cases} y'=\frac{1}{3}(-\sin(1{,}04)x+\cos(1{,}04)y)+\sqrt{3} \\ x'=\frac{1}{3}(\cos(1{,}04)\ x+sin(1{,}04)y)+3 \end{cases}$ $f_5:\begin{cases} y'=-\frac{1}{3}y \\ x'=-\frac{1}{3}x+4 \end{cases}$

$f_6:\begin{cases} y'=\frac{1}{3}(\sin(1{,}04)\ x+\cos(1{,}04)y)-\sqrt{3} \\ x'=\frac{1}{3}(\cos(1{,}04)\ x-\sin(1{,}04)y)+3 \end{cases}$ $f_7:\begin{cases} y'=\frac{1}{3}(-\sin(1{,}04)x+\cos(1{,}04)y) \\ x'=\frac{1}{3}(\cos(1{,}04)\ x+\sin(1{,}04)y)+2 \end{cases}$

Программу «Paporotnic», позволяет строить фрактальные структуры, выделяя узловые точки исходного объекта. В качестве входных данных пользователь задает количество преобразований, указывает характерные точки исходного изображения и соответствующие им точки каждой части объекта. По указанным данным на основе игры «Хаос»[3,10] программа строит изображение фигуры. Подставим в программу изображение папоротника.

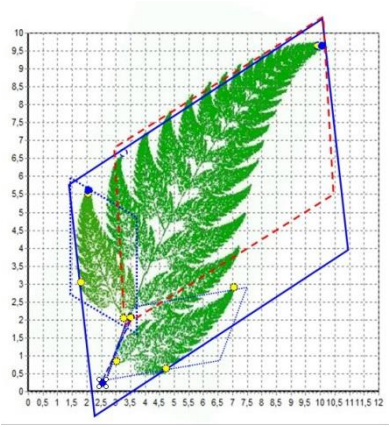


Рис. 3

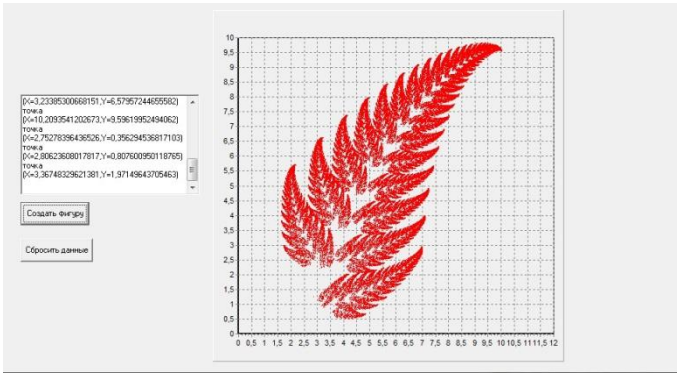


Рис. 4

Выделим характерные для него точки: основание стебля, вершина крайнего левого листа и вершина всего папоротника (рис. 3). Затем выделим соответствующие точки трех частей, подобных исходной (это крайний левый и крайний правый лепестки и вся оставшаяся часть папоротника). Запустив построение, получим следующее изображение папоротника схожее с исходным (рис. 4).

Таким образом, можно создать различные геометрические и природные фрактальные объекты[9]. Ниже представлены некоторые изображения, полученные нами при помощи этой программы (рис. 5).

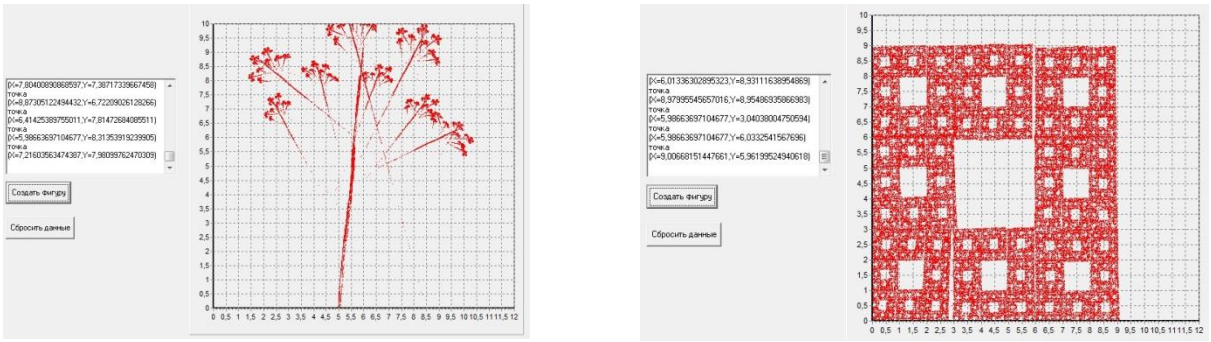


Рис. 5

Разработанное нами программное обеспечение позволяет визуализировать фрактальные множества, экспериментировать с их построением, изучать свойства.

Библиографический список

1. *Falconer K.J.*Fractal geometry: mathematical foundations and applications / Kenneth Falconer. – N.Y, 2003. – 335 с.
2. *Газале М. Гномон.* От фракталов до фараонов / М. Газале. – М. : Институт компьютерных исследований, 2002. – 273 с.
3. *Долбилин Н.* Игра «Хаос» и фракталы // Научно-популярный физико-математический журнал Квант, №4, 1997, стр. 2 – 8.

4. *Долбилин Н.* Самоподобные мозаики // «Квант», Научно-популярный физико-математический журнал. – июль/август, 1998. – №2.
5. *Заславский А.А.* Геометрические преобразования / А.А. Заславский. – 2-е изд. – М. : МЦНМО, 2004. – 86с.
6. *Кроновер Р.М.* Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. / Р.М. Кроновер. – М. : Постмаркет, 2000. – 453 с.
7. *Мандельброт Б.* Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М. : Институт компьютерных исследований, 2002. – 666 с.
8. *Морозов А.Д.* Введение в теорию фракталов / А.Д. Морозов. – М. : Институт компьютерных исследований, 2002. – 160 с.
9. *Пайтген Х.*– О. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем / Х.– О Пайтген, П.Х. Рихтер. – М. : Мир, 1993. – 206 с.
10. *Шредер М.* Фракталы, хаос, степенные законы./ М. Шредер – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 528с.

FIRST STEPS IN FRACTAL GEOMETRY

Sheremet Galina G.

Perm state humanitarian pedagogical University, 614990, Russia, Perm, Siberian street, 24
sheremet@perm.ru

Pronicheva Svetlana A.

Gymnasium №17, st. Lenina, 31, Perm, Russia, 614000, sa.pronicheva@gmail.com

The article presents a description of programs developed for visual presentation of fractal geometry. These programs allow you to get image by geometric fractals, the formulas of affine transformations that transform the source object into one of its parts. Presents two main approaches: iteration and the game is "Chaos". The developed software allows to visualize the fractal set, experiment with their build, to study the properties.

Key words: fractal geometry, affine transformation

УДК 514

ЭЛЕКТИВНЫЙ КУРС «ИЗГИБАЕМЫЕ МНОГОУГОЛЬНИКИ И МНОГОГРАННИКИ»

Рылова Валентина Сергеевна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 24,rulowa.walentina@gmail.com

Аннотация: Данная статья содержит описание созданного нами элективного курса, на основе собранной информации за два года. Основным составляющим статьи является содержание курса. Рассмотрены цели и задачи курса, а также описаны ожидаемые результаты. Представлены формы организации учебных занятий, описано тематическое планирование с подробным описанием теоретической части каждого урока. Тематическое планирование представлено в двух видах: табличном и текстовом. А также по всему элективному курсу сделаны выводы, каким из стандартных требований отвечает данный курс. Также к этому курсу в 2016 году была создана электронная версия элективного курса, разработанного в программном продукте Moodle, который может быть как самостоятельной единицей, так и хорошей поддержкой для уже созданного элективного курса.

Ключевые слова: элективный курс, изгибаемый многоугольник, изгибаемый многогранник, тематическое планирование курса.

В течение двух последних лет темой исследований становились различные классы фигур, а именно изгибаемые многоугольники (или флексагоны) и изгибаемые многогранники. Эти фигуры не являются предметом изучения ни в школе, ни в колледжах, ни в университетах. А так как эти фигуры значительно отличаются от остальных изученных фигур в курсе геометрии, потому что обладают отличительной чертой, как способность изгибаться, то возникла идея о создании для школьников элективного курса, который расскажет об этих фигурах. Этот курс будет очень непростой по содержанию, поэтому целесообразно написать программу элективного курса для 9 класса.Этот курс разработан для учащихся, которые увлекаются математикой, моделированием.

Цель курса: познакомить учащихся с двумя классами фигур, а именно рассказать об изгибаемых многоугольниках и многогранниках.

Задачи курса: повторить и обобщить знания об известных многогранниках;познакомить с изгибаемыми многоугольниками (многогранниками), изучить их классификацию, научить создавать модели данных фигур;применять задачи на доказательство, опираясь на развертки фигур.

Ожидаемые результаты: усвоение необходимых знаний о классах фигур;развитие пространственного мышления;усвоение основных приемах мыслительного поиска плана

© Рылова В.С., 2016 г.

доказательства;выработают умения: самоконтроля времени выполнения заданий, составления модели различных фигур, проведения самостоятельно опытов и умение анализировать полученные результаты, умения работать в группах.

Структура курса:

Курс рассчитан на 10 занятий. Включенный в программуматериал предполагает повторение и изучение следующих разделов:флексагоны и их классификация;тригексафлексагон[3], его модели и свойства;лист Мебиуса;изгибаемые многогранники и их свойства;модели различных фигур;метод доказательства геометрических задач с использованием развертки.

Формы организации учебных занятий

Формы проведения занятий включают в себя лекции, практические работы, тренинги по использованию методов поиска решений, лабораторную работу в группах. Каждая тема курса начинается с исторического экскурса. Теоретический материал излагается в форме мини лекции, с использованием презентаций. После изучения теоретического материала выполняются практические задания для его закрепления. На занятиях для наглядности используется метод оригами. Проводится игра и выступление с докладами для закрепления материала, а также лабораторные работы по самостоятельному изучению свойств фигуры.Занятия строятся с учётом индивидуальных особенностей обучающихся, их темпа восприятия и уровня усвоения материала. В таблице 1 представлено тематическое планирование данного курса.

Подробнее опишем содержание программы элективного курса «Изгибаемые многоугольники и многогранники» по всем темам, представленным в тематическом планировании.

Тема1. Определение многоугольника (многогранника), правильного многоугольника; диагонали многогранника; выпуклые четырехугольники; оси симметрии в многоугольниках; имена ученых, которые внесли большой вклад и теорию многоугольников и многогранников; формулы площадей и длин в многоугольниках и др.

Тема 2.История создания флексагона[3], определение флексагона[2], классификация.

Тема 3 .Определение тригексафлексагона. Построение модели данной фигуры двумя способами.

Тема 4. Проведение лабораторной работы, которая выявит свойства тригексафлексагона, как сплющенного листа Мебиуса.

Тема 5 .Складываем из бумаги прямоугольный треугольник (двумя способами) и доказываем, что один из его углов равен 60°.

Тема 6 .История создания. Теорема Коши. Октаэдр Брикара I типа идея его построения.

Тема 7. Самопересечение, объем, симметрия и изгибаемость пяти многогранников: октаэдр Брикара I типа, октаэдр Брикара II типа, зарубка Конелли, многогранник Конелли, многогранник Штефана[2]. Классификация многогранников.

Тема 8. Создание математических моделей известных изгибаемых многогранников.

Тема 9. Выступление детей с докладами по различным темам.

Таблица 1 Тематическое планирование

№№	Тема	Кол-во учебных часов	Форма проведения	Образовательный продукт
1	Вводное занятие	1	Игра	Актуализация знаний.
2	Флексагоны и их классификация	1	Лекция	Ознакомление с новым классом фигур
3	Тригексафлексагон	2	Комбинированный урок	Ознакомление с тригексафлексагоном и двумя способами сборки фигуры
4	Свойства тригексафлексагона	1	Лабораторная работа	Изучение свойств листа Мебиуса
5	Решение задач на доказательство	1	Практическое занятие	Умение доказывать простые геометрические задачи
6	Изгибаемые многогранники, история создания и виды	1	Лекция	Ознакомление с новым классом фигур
7	Изучение свойств изгибаемых многогранников	1	Лабораторная работа	Умение работать по научному тесту, анализировать его и делать выводы
8	Создание моделей изгибаемых многогранников	1	Практическое занятие	Умение создавать математические модели
9	Заключительное занятие	1	Выступление с докладами	Систематизация полученных знаний

Данная программа элективного курса «Изгибаемые многоугольники и многогранники», которая отвечает многим требования, а именно[1]:

- по форме: преемственность с профильным образованием школы, привлекательность названия курса, не создают перегрузку учащихся;
- по содержанию: не дублируют школьную программу, имеют практическую направленность, знакомят со способами деятельности, необходимыми для успешного освоения программ будущего профиля.

Этот курс полностью описан в рамках курсовой работы и апробирован на учащихся 9 класса школы №2 г. Перми. Также к этому курсу в 2016 году была создана электронная версия элективного курса, разработанного в программном продукте Moodle, который может быть как самостоятельной единицей, предназначенной для освоения темы изгибаемые многоугольники и многогранники, так и хорошей поддержкой для уже созданного элективного курса, так как содержит основные теоретические сведения элективного курса и основные задания в электронном виде.

Библиографический список

1. *Воронина Г. А.* Элективные курсы: алгоритмы создания, примеры программ/ Г.А. Воронина. – М. : Айрис-пресс, 2006. – С 128.
2. *Залгаллер В.А*. Непрерывно изгибаемый многогранник / В.А. Залгаллер // Квант. – 1978. – № 9. – С. 13–19.
3. *Панов А. А.* Флексагоны. Флексоры. Флексманы/ А. А. Панов//Научно-популярный физико-математический журнал «Квант». – 1988. – №7. – С 10 – 13.

ELECTIVE COURSE “BENDING POLYGONS AND POLYHEDRA”

Rylova Valentina S.

Perm State Humanitarian Pedagogical University, 614990, Russia, Perm, ul. Siberian, 24, rulowa.walentina@gmail.com

This article describes how we created an elective course on the basis of the information collected for two years. The main components of the article will be the content of the course. The aims and objectives of the course, as well as the expected results described in it. Presented forms of organization of training sessions, described a case plan detailing the theoretical part of each lesson. Thematic plan is presented in two forms: tabular and text. And throughout the elective courses conclusions, what the requirements of the standard answers this course. Also this course the electronic version of the elective course was created in 2016, developed in Moodle software product, which can be as an independent unit, and good support for the already created an elective course.

Keywords: elective course, bendable polygon flexible polyhedron, a thematic plan of the course.

УДК 004.057.6

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ РЕШЕНИЙ ЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПРИ ОБУЧЕНИИ ОСНОВАМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Старовойтова Ирина Алекснадровна, Старовойтов Александр Степанович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 308000, Россия, г.Белгород, ул.Студенческая, 14, starovoitov@bsu.edu.ru

Обучение основам программирования в высшей школе базируется на основах логики. Из множествалогических задач рассмотрим класс с общей формулировкой: «Определить, попадает ли точка в заданную область».В ходе решения задачи рассматриваемого класса студенту необходимо формализовать представленную область программным кодом. Педагог проверяет выполненное учеником задание с помощью специальной тестовой программы, которая призвана создать визуальную картину, интерпретирующую все множество решений, реализованных в программном коде студента.Полное тестирование решения таких задач невозможно. Была выделена технологическая цепочка тестирования, включающая следующие ключевые этапы:оформление программного кода ученика в виде функции;тестирование решения задачи;автоматизация процесса тестирования. Все этапы представлены в программном комплексе, разработанном и апробированном нами.

Ключевые слова: методика, информатика, автоматизация, программирование, тестирование, логические задачи, программный комплекс.

При изучении основ программирования в школе и вузе особое место занимает тематический раздел под общим названием «Логические выражения». Важность и необходимость изучения этого раздела определяется следующими образовательными задачами: сформировать логическую культуру учащихся; сформировать когнитивные навыки; сформировать особые приемы программирования; обеспечить качественное усвоение основ программирования. Действительно, место раздела характеризуется наличием обширных внутрипредметных связей с другими темами курса, что определяет целесообразность его пристального изучения.

Для лучшего усвоения материала этого раздела педагоги предлагают самые разные задачи. Из всего многообразия имеющихся задач остановим свое внимание на классе, общая формулировка которого звучит так: «Определить, попадает ли точка в заданную область». Проводя анализ возможной области попадания точки, остановим свой выбор на прямоугольной декартовой системе координат (ПДСК) на плоскости. Конструирование области на плоскости возможно при помощи использования различных геометрических

© Старовойтова И.А., Старовойтов А.С., 2016 г.

фигур. К их числу отнесем: эллипс, парабола, ромб, прямая. Введем в рассмотрение базовые области в ПДСК в зависимости от геометрических фигур, используемых для их построения (на рис. 1 представлены некоторые частные случаи заданных областей).

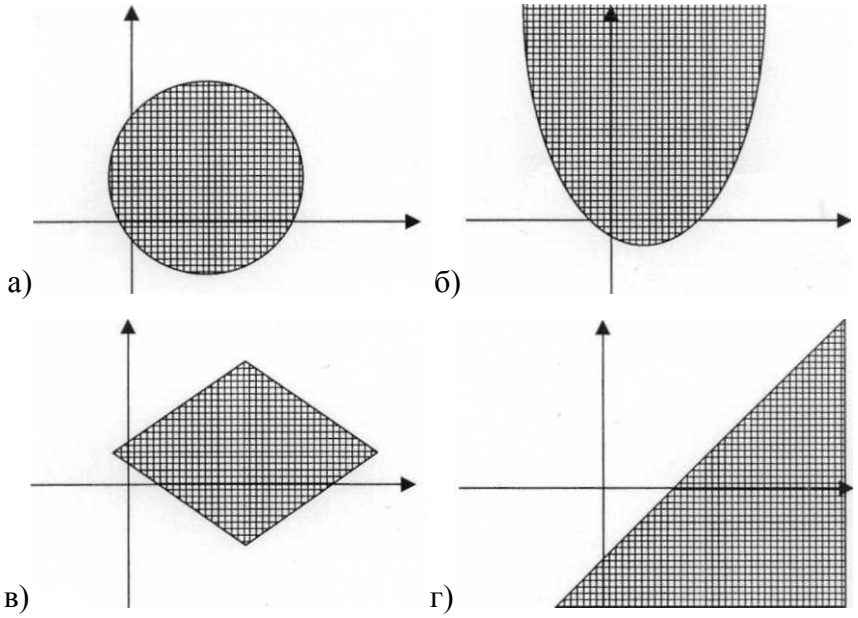


Рис. 1. Базовые геометрические фигуры

Используя эти фигуры в разных комбинациях и сочетаниях, можно получить бесконечное число областей. Для формализации полученной области необходимо: описать каждую из фигур алгебраическим языком, и указать характер соотношения фигур области на языке логики. Каждая из фигур описывается своим алгебраическим уравнением. На языке множеств эти соотношения задаются операциями объединения, пересечения, вычитания. На языке логики эти же операции записываются соответственно: логическое ИЛИ, логическое И, и отрицание НЕ. В этом случае, конструирование задачи сводится к конструированию области. Сложность задачи оказывается тем сложнее, чем большее количество фигур и логических операций оказывается охваченным в процессе конструирования области. Проиллюстрируем сказанное на примере с постановкой задачи: «Определить, попадает ли точка в заданную область».

Пример. Пусть область в ПДСК задана следующим изображением (см. рис. 2). Геометрические фигуры, используемые для задания области: прямая, эллипс, ромб, парабола. Логические операции, используемые для задания области: AND, OR, NOT.

Аналитическая запись линий области: ромб: $\frac{|x+2|}{4}+\frac{|y|}{2}=1$, прямая: $y=-4-x$, эллипс1: $(x+4)^2+(y+2)^2=9$, эллипс2: $(x-1)^2+(y)^2=4$, парабола: $y=0{,}5(x+2)^2+1$

Записьобластипрограммнымкодом (назыкеPascal): circle1:=sqr(x+4)+sqr(y+2)<9; circle2:=sqr(x-1)+sqr(y)<4;romb:=abs(x+2)/4+abs(y)/2<1; line:=y<-x-4; parab:=y>sqr(x+2)*0.5+1; Result:=not circle1 and not circle2 and not parab and romb and not line;

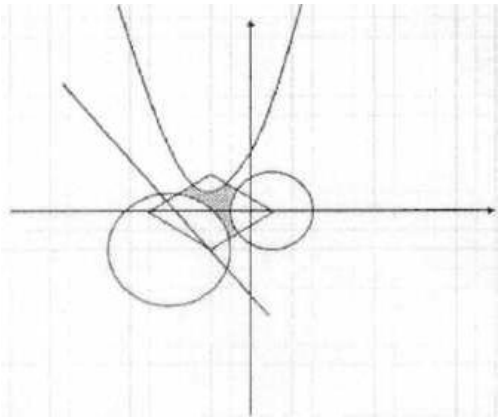


Рис. 2. Заданная область

В ходе решения задачи рассматриваемого класса необходимо формализовать представленную область программным кодом. В рассмотренном примере результат такой формализации представлен средствами языка программирования Pascal. Процесс решения задач рассматриваемого класса освещен в статье Е.В. Андреевой [1]. В этой же статье мы находим способ тестирования правильности решения задачи путем его визуализации.

Действительно, полное тестирование решения таких задач затруднительно в виду того, что невозможно рассмотреть все возможные точки заданной области. Поэтому возникает необходимость поиска специального способа и средств тестирования задач этого класса. Как следствие, возникает проблема отсутствия инструментальных средств тестирования и необходимость их разработки. Педагог проверяет выполненное учеником задание с помощью специальной тестовой программы, которая призвана создать визуальную картину, интерпретирующую все множество решений, реализованных в программном коде ученика.

При написании тестовой программы необходимо решить проблему разделения самой тестовой программы, файла ученика и результатов тестирования. Использование языка программирования Pascal позволяет решить эту проблему следующим образом.Подключается файл ученика с помощью директивой $I, использующейся для разделения тестирующей программы и программного кода ученика. Из тестирующей программы подаются координаты сканируемой области (x, y), которые являются входящими параметрами для функции, написанной учеником. Она возвращает логическое значение в зависимости от того, попала ли точка в сконструированную область, задающуюся логическим выражением. В результате запуска тестирующей программы на экране

получается рисунок, который в случае правильного составления программного кода должен совпасть с рисунком, выданным в качестве графической иллюстрации задания ученика.

Идея тестирования рассматриваемого класса задач, описанная Е.В. Андреевой, была нами доработана. Проанализировав всю технологическую цепочку тестирования решения задачи, нами были выделены следующие ключевые этапы: 1) оформление программного кода ученика в виде функции; 2) тестирование решения задачи; 3)автоматизация процесса тестирования.

Каждый из обозначенных этапов должен быть реализован специализированным программным средством. В результате таких рассуждений мы пришли к необходимостиразработать программный комплекс, структура которого отражает все выше обозначенные этапы тестирования и включает в себя: Конвертор, Тестирующую программу, Командный файл.Дадим необходимые комментарии по структуре и назначению каждого компонента рассматриваемого в статье комплекса.

Программа-конвертор предназначена для того, чтобы не оформлять программный код ученика в виде функции Result вручную. Созданный нами конвертор позволяет существенно сократить время процесса тестирования. Принцип работы конвертора заключается в следующем: в качестве исходных данных берется файл с программным кодом ученика, далее в этом коде удаляются все лишние команды. К числу таковых мы отнесли операторы 'Write', 'Read', 'Writeln' и 'Readln'. Первая строка кода, содержащая название программы 'Program', заменяется на строку 'function Result (x,y: real): Boolean'', а 'END.'' заменяется на 'END;'.

*Тестирующая программа*подробно описана в статье [1], и мы не будем на ней останавливаться. Для *автоматизации* процесса тестирования нами написан командный файл с разрешением *.bat, в котором прописан путь запуска комплекса средств. При запуске командного файла выполняются следующие действия: 1) запускается конвертор (Konvertor.pas). с помощью которого исходный файл (файл ученика) преобразуется в функцию. Создается результирующий файл (Result.pas); 2) запускается тестирующая программа Checktask (с прикрепленным результирующим файлом), имеющая расширение *.pas; 3) тестирующая программа компилируется, затемполучаем файл с расширением Checktask.exe и 4) запускается исполняемый файл Checktask.exe и на экране появляется визуальная картинка решения ученика.

Таким образом, файл ученика, программа-конвертор, тестирующее средство, командный файл представляют собой составляющие программного комплекса, механизм функционирования и использования которого показан на рис. 3.

Разработка и последующая апробация рассмотренного в статье комплекса осуществлялась нами в рамках образовательного процесса кафедры информатики, естественнонаучных дисциплин и методик преподавания факультета математики и естественнонаучного образования НИУ «БелГУ».

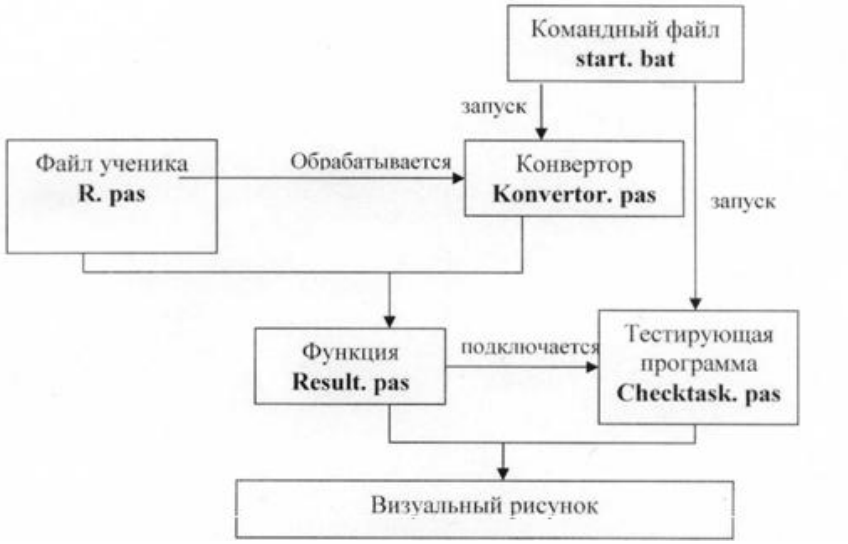


Рис.3. Схема функционирования программного комплекса

Как показал наш опыт, разработанный и апробированный программный комплекс может успешно использоваться при обучении студентов различных направлений подготовки основам программирования. Использование данного программного комплекса позволяет улучшить образовательный процесс в ВУЗе.

Библиографический список

1. *Андреева К.В.* Логические выражения. Практикум по информатике /Е.В.Андреева. И.С.Гущин // Информатика.-2001.-№36.-С.5-9

AUTOMATION TEST SOLUTIONS TO LOGIC PROBLEMS WHILE TEACHING THE BASICS OF PROGRAMMING WITH THE USE OF SPECIALIZED SOFTWARE

Starovoitova Irina A., Starovoitov Alexandr S.

Belgorod State University, st. Studencheskaya, 14, Belgorod,Russia, 308000,
starovoitov@bsu.edu.ru

Learning the basics of programming in higher education is based on the foundations of logic. Many logic problems consider the General class: "to Determine whether a point in a given area". In the course of solving problems of this class the student must formalize the presented region code. The teacher checks the student performed the task using a special test program, which is designed to create a visual picture that interprets all the many solutions implemented in the program code of the student. Full testing of the solution of such problems impossible. We identified the process chain

for the test that includes the following key steps: making software code the student in the form of the function; testing the solution; automation of the testing process. All the steps presented in the software package, developed and well-tested us.

Key words: teaching computer science, automation, programming, testing, software system

УДК 378.147

ПРЕОДОЛЕНИЕ ЭТНИЧЕСКИХ СТЕРЕОТИПОВ СРЕДИ УЧАЩЕЙСЯ МОЛОДЁЖИ ЗА СЧЁТ ВИДЕОМАТЕРИАЛОВ (НА ПРИМЕРЕ ФИЛЬМА «КРУТЫЕ ВИРАЖИ»)

Тетерин Вадим Игоревич

ФГБОУ ВО Пермская ГСХА, 614000, Россия, г. Пермь, Петропавловская, 23,teterinvi@gmail.com

Камышев Константин Дмитриевич

ГБПОУ «Колледж Олимпийского резерва Пермского края», 614000, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 55, robespewr@mail.ru

Аннотация: В статье рассматривается проблема использования интерактивных методов обучения в современном образовательном процессе. Одним из таких методов является применение на уроках мультимедийных технологий, прежде всего видеоматериалов. Использование видео в педагогическом процессе позволяет решить целый комплекс задач. Среди них отдельно можно выделить возможность борьбы с этническими стереотипами в среде учащейся молодёжи, и, как следствие, формирование толерантной позиции в обществе. Одним из возможных примеров может стать использование в учебном процессе фильма «Крутые виражи» в комплексе с презентациями и справками по проблеме этнических конфликтов в спорте, подготовленными учащимися. Результатом просмотра должна стать групповая работа по обсуждению фильма, интерактивному анализу поведенческих стратегий протагонистов фильма. Итогом полемики с применением мультимедиа технологий должен стать общий тезис, принятый всеми участниками дискуссии.

Ключевые слова: мультимедиа технологии, образовательный процесс, интерактивность, этнические конфликты, Крутые виражи.

Важнейшая задача современной образовательной организации - подготовить учащихся к необходимости ориентироваться в информационном пространстве, овладевать культурной ориентацией в современных информационных потоках. Основные потоки информации усваиваются человеком через визуальное воздействие, в результате возрастает потребность в использовании мультимедийных технологий в образовательном процессе, в том числе в рамках гуманитарных дисциплин. В настоящее время уже не вызывает сомнения необходимость использования видеоматериалов на занятиях, а значит важен переход на качественно новый уровень технологий на всех уровнях образования. Всё это в комплексе актуализирует разносторонние, в том числе междисциплинарные исследования, по технологиям применения мультимедийных продуктов в педагогике.

© Тетерин В.И., Камышев К.Д., 2016 г.

Мультимедийные технологии могут активно использоваться в педагогической деятельности, их применение обеспечивает максимальную реализацию общепедагогического принципа наглядности. Сегодня существует разные подходы к определению термина «мультимедиатехнологии» [1, с. 229]. Прежде всего, это перспективный метод, позволяющий объединить аудио, видео, текстовые материалы. Особенно интересно применение видеоматериалов, в том числе художественных фильмов, в комплексе с текстами и презентациями, подготовленными учащимися. Видеоматериалы могут быть использованы для более детального рассмотрения различных проблем. После просмотра учащиеся могут проанализировать и обсудить просмотренный материал, с привлечением заранее подготовленных справок, презентаций и т.д. Таким образом, появляется возможность соотнести себя с протагонистами художественных фильмов, а на основе этого сделать собственные умозаключения о правильности своего поведения и отношения к другим учащимся во время занятий, и на основе этих выводов скорректировать свою общественную позицию, жизненную стратегию. Именно поэтому такие технологии могут быть использованы для решения проблемы преодоления этнических стереотипов в молодёжной среде. Этнический стереотип – исторически сложившиеся правила оценки поведения того или иного этноса. Однако такие оценки зачастую не совпадают с действительностью.

В качестве примера использования видеоматериала для работы с этническим стереотипом можно привести фильм «Крутые виражи» [2]. По сюжету команда из Ямайки участвует на Олимпийских играх в бобслее, виде спорта, который не характерен для данной страны. На Олимпийских играх они не воспринимались в качестве серьезных соперников, что было явным проявление этнического стереотипа. Однако, несмотря на такое отношение, данная команда достойно выступила на зимней Олимпиаде.

Неоднократный просмотр фильма с учащимися ГБПОУ «Колледж Олимпийского резерва Пермского края» позволяет отметить некоторые закономерности. Прежде всего, фильм вызывает множество впечатлений и, как следствие, размышлений по фильму. Вместе с тем, отзывы учащихся отличаются крайней полярностью. В качестве примера можно привести некоторые высказывания учащихся:

«…Возможно лучший спортивный фильм на свете. Фильм про веру в себя, в свои силы, в свою команду. Иногда можно победить, не занимая первое место…» – студент 2 курса;

«…Даже слезы наворачиваются на глазах. Это наверно какая-то магия кинематографа, потому что сами фильмы вроде не совсем грустные, а все равно становится как-то очень плохо…» – студентка 1 курса;

«…Главная идея — четыре парня из Ямайки хотели поехать на олимпийские игры и выступать в дисциплине бобслей, даже ни разу не сидев в бобе…» – студент 1 курса;

«...Неважно что они никогда не видели снега и не представляют, как кататься на санях. Новичкам ведь везет...» – студент 1 курса;

«… Ну и что, то что их поддерживали все… всё равно они Черные…» – студент 1 курса;

«Это же расизм, когда все гоняют их за то, что они не отсюда и никогда в зимних олимпиадах не участвовали…» – студент 2 курса;

Одним из необходимых условий проведения занятия становится обсуждение всех высказываний. Такое обсуждение позволяет выявить и развенчать негативные стереотипы этнического характера, воспитать в учащихся толерантность. Кроме того, это позволяет внедрить в процесс обучения интерактивные формы обучения в форме групповой работы. Темы, обсуждаемые в течение полемики не должны быть закрытыми или весьма узкими. Необходимо, чтобы уровень обсуждаемого вопроса позволял перейти от простых проблем к масштабной постановке проблемы. При этом знания не сообщаются в готовом виде, а перед обучаемыми ставятся различные проблемные задачи, побуждающие их искать пути и средства решения. В данном случае лекция проводится в виде диалогового общения, а преподавание имитирует исследовательский процесс [3, с. 210].

В результате решаются следующие задачи:

1 Разбор понятия «этнический стереотип» и его влияния на спортивную жизнь;
2 Воспитание уважительного отношения к различным народам и олимпийского отношения к соперникам;
3 Развитие способностей к сопереживанию.

Работа по вышеперечисленным направлениям с использованием видеоматериала повышает потенциал учебного занятия и информационную культуру педагогических работников и обучающихся, даёт возможность более качественного усвоения современного обществоведческого материала, что обеспечивает доступ к качественному образованию и способствует активизации обучающихся в выборе образовательных дисциплин. Применение видеоматериалов переводит на новый качественный уровень подготовку и проведение учебного занятия.

Библиографический список

1. *Данилькевич А.В.* Содержание обучения мультимедийным технологиям студентов эстетико-гуманитарного направления в системе среднего профессионального образовании // Бизнес. Образование. Право. Вестник Волгоградского института бизнеса. 2012. № 4 (21). С. 228-232.

2. Крутые виражи. США, 1993. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.kinopoisk.ru/film/22651/ (Дата обращения: 23.03.2016).
3. *Кравченко И.Н., Туфанов Е.В.*Инновационныетехнологиивпреподаванииистории // Вестник АПК Ставрополья. 2015. № 1 (17). С. 208-212.

VIDEO OVERCOME ETHNIC STEREOTYPES OF STUDENTS (ON THE EXAMPLE OF THE FILM "COOL RUNNINGS")

Kamyshev Konstantin

Olympic Reserve College, 614000, Sibirskaja, 55, Perm, Russia, robespewr@mail.ru

Teterin Vadim

Perm State Agriculture Academy, 614000, st. Petropavlovskaja, 23, Perm, Russia,teterinvi@gmail.com

Abstract: In the article the authors write about the use of interactive methods in modern educational process. This method is the use of multimedia technology on the lesson, such as video. The use of video in the pedagogical process allows us to solve a number of problems. It is the struggle with ethnic stereotypes among students, the formation of a tolerant position in society. For example, it is the film "Cool Runnings". Students prepare papers and presentations for this film. The theme is overcomingthe ethnic conflicts. The result is a group work to discuss the film, interactive analysis of behavioral strategies of the protagonists of the film. At the end students take general thesis about overcoming the ethnic conflicts.

Keywords: multimedia technology, the educational process, interactivity, ethnic conflicts, Cool Runnings.

УДК 51

ЛОГИКО-ИСТОРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАК СРЕДСТВО ПОЗНАНИЯ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ МАТЕМАТИКИ

Шадрина Маргарита Николаевна, Магданова Ирина Владимировна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 614990, Россия, г. Пермь, Сибирская, 24, rit.shadrina@mail.ru

Предметом нашегоисследованияявляются возможности применения логико-исторического анализа при обучении математике. Логико-исторический анализ является одним из основных средств достижения метапредметных результатов, прописанных в Федеральном ГосударственномОбразовательномСтандарте (ФГОС).Среди результатов исследования: систематизация и обобщение историко-математического материала, в частности, различные виды определений, классификаций основных понятий школьного курса математики, история развития терминов, символики, соответствующие дидактические материалы, методические рекомендации.

Ключевые слова: история математики, Федеральный Государственный Образовательный Стандарт, логико-исторический анализ, методика обучения математике.

На сегодняшний день, одним из направлений совершенствования методики преподавания в математическом образовании является использование логико-исторического анализа как эффективного средства управления познавательной деятельностьюучащихся. В Федеральном ГосударственномОбразовательном Стандарте прописано, что у учащихся должно формироваться представление о математике как части общечеловеческой культуры [5].

Актуальность данного исследования обусловлена и тем, что современные программы школьного курса математики не указывают на конкретные историко-научные материалы и методику их использования. Доступная учителям информация – это, как правило, отдельные факты из истории математики,биографии великих ученых. Поэтому целью нашего исследования является создание дидактических материалов, которые содержат анализ возникновения, развития основных понятий, теорий, рассматриваемых в школьном курсе математики, и могут быть использованы в урочной и внеурочной деятельности, а также для организации самостоятельной учебно-исследовательской деятельности обучаемых.

Результаты систематизации, обобщения материала представлены нами в наглядной форме, в том числе, в виде таблиц, схем, фреймов. Так, например, содержится материал, позволяющий сравнивать определения понятий, таких какокружность, парабола, прямая,

© Шадрина М.Н., Магданова И.В., 2016 г.

треугольник в Древней Греции (III в. до н. э.) и современное время; а также информация для анализа классификаций уравнений, способов их решения, линий, многоугольник на плоскости (табл. 1, по материалам [1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9]). Историко-математическая информация сопровождается серией вопросов, способствующих формулированию обучаемыми выводов о том, что в разные исторические периоды люди по-разному определяли одни и те же понятия, так как базовая информация по предмету, методология науки, научные традиции и математический аппарат, на основе которых формировались понятия, теории отличались друг от друга; и в современном мире одно понятие может иметь качественно разные определения, так как используется в разных контекстах и с использованием различного математического аппарата.

Анализ исследования показал, что наиболее распространенными определениями понятий в истории науки являются определения через род и видовые отличия,генетические и номинальные. В словарях,энциклопедиях определениячасто заменяют приемом сходным с определением (в частности, характеристикой или описанием), разъяснением посредством примера.

Таблица 1

<table>
<tr><td rowspan="5">Из четырёхсторонних фигур квадрат есть та, которая и равносторонняя, и прямоугольная, разносторонник же — прямоугольная, но неравносторонняя, ромб — равносторонняя, но непрямоугольная, ромбоид(параллелограмм) — имеющая противоположные стороны и углы, равные между собой, но не являющаяся ни равносторонней, ни прямоугольной.</td><td colspan="3">Квадрат – правильный четырехугольник, или равносторонний прямоугольник.</td><td>Квадрат – это прямоугольник, у которого все стороны равны.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Прямоугольник – параллелограмм, у которого один из внутренних углов прямой.</td><td>Прямоугольник – это четырехугольник, у которого все углы прямые.</td></tr>
<tr><td colspan="3">Ромбом называется параллелограмм, две смежные стороны которого равны между собой.</td><td>Ромб – это параллелограмм, у которого все стороны равны.</td></tr>
<tr><td>Четырех-угольник, имеющий центр сим-метрии, называют парал-лелограм-мом.</td><td>Параллелог-рамм – четырехуголь-ник, противополо жные стороны которого попарно параллельны.</td><td>Ромбоид (дельтоид) – выпуклый четыреху-гольник, симметрич-ный относительн о одной из его диагоналей.</td><td>Параллелограмм – это четырехугольник, у которого противолежащие стороны параллельны, т. е. лежат на параллельных прямых.</td></tr>
<tr><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td>Остальные же четырёхсторонники будем называть трапециями.</td><td colspan="3">Трапеция – выпуклый четырехугольник, две стороны (основания) которого параллельны, а две другие (боковые стороны) не параллельны.</td><td>Трапецией называется выпуклый четырехугольник, у которого только две противолежащие стороны параллельны.</td></tr>
</table>

Подчеркнем, что анализ различного вида определений, описаний, характеристик, классификаций представленных в различные эпохи разными народами является не только полезным, но и интересным в процессе формирования универсальных учебных действий обучаемых, представления о математике как части общечеловеческой культуры. А

использование логико-исторического анализа при обучении математики является одним из средств достижения метапредметных результатов ФГОС.

Библиографический список

1. *Александрова Н. В.* Математические термины: справочник / Н. В. Александрова. – М.: Высшая школа, 1978. – 189 с.
2. *Выготский М. Я.* Арифметика и алгебра в древнем мире / М. Я. Выготский. – М.: Наука, 1967. – 386 с.: ил.
3. *Декарт Р.* Геометрия / Р. Декарт; пер. с лат. А. П. Юшкевича. – М.: Изд-во НКТП СССР, 1938. – 296 с.
4. *Ожегов С. И.* Толковый словарь русского языка / С. И. Ожегов, Н. Ю. Шведова. – 4-е изд., дополненное. М.: ООО «ИТИ Технологии», 2006. – 944 с.
5. *Федеральный* государственный образовательный стандарт. Приказ Министерства образования и науки РФ «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования», утв. приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 декабря 2010 г. № 1897.
6. *Энциклопедический* словарь юного математика / сост. Э-68 А. П. Савин. – М.: Педагогика, 1989. – 352 с.
7. *Геометрия* 7-9: учебник для общеобразовательных учреждений / Л. С. Атанасян, В. Ф. Бутузов, С. Б. Кадомцев и др. – 15-е изд. – М.: Просвещение, 2005. – 384 с.
8. *Математический* словарь / сост. Ю. Я. Каазак. – Таллин : Валгус, 1985. – 296 с.
9. *Погорелов А. В.* Геометрия: учеб. пособие для 6 – 10 классов средней школы / А. В. Погорелов. – М.: Просвещение, 1982. – 292 с.

LOGICAL-HISTORICAL ANALYSIS AS A MEANS OF LEARNING IN THE SCHOOL COURSE OF MATHEMATICS

Shadrina Margaret N., Magdanova Irina V.

Perm State Humanitarian Pedagogical University, st. Sibirskaya, 24, Perm,Russia,614990, rit.shadrina@mail.ru

The object of research is the possibility of using the logical and historical analysis in teaching mathematics. This article presents one of the main means of achieving the results of the metasubject prescribed in Federal State Educational Standards. Also, the study reflects the importance and role of historical knowledge in the learning process. The results of the study are: systematization and synthesis of historical and mathematical material, in particular, definitions, classifications, basic concepts of school mathematics.

Key words: history of mathematics, Federal State Educational Standard, logical-historical analysis, methodology of teaching mathematics, mathematics teaching methodology.

УДК 514

ПРИМЕНЕНИЕ ОРИГАМИ В ПРОПЕДЕВТИЧЕСКОМ КУРСЕ ГЕОМЕТРИИ

Юдина Александра Викторовна, Шеремет Галина Геннадьевна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 24, aliks.fly@mail.ru

Аннотация: В условиях низкого уровня познавательных интересов учащихся педагогу необходим поиск эффективных форм, моделей, способов и условий обучения. Возникновение интереса к математике у значительного числа учащихся зависит от методики её преподавания, от того, насколько умело будет построена учебная работа. Одним из механизмов развития геометрического мышления может стать совместное изучение геометрии и оригами. На основе учебников «Математика. 5 класс» и «Математика. 6 класс» (авторы Виленкин Н.Я., Жохов В.И. и др.) были разработаны методические рекомендации по включению оригами в уроки математики.

Ключевые слова: оригами, преподевтика.

С 1 сентября 2015 г. ФГОС основного общего образования был введен во всех общеобразовательных учреждениях Российской Федерации. Стандарт устанавливает требования к результатам освоения обучающимися основной образовательной программы основного общего образования: личностным, метапредметным, предметным.

В условиях низкого уровня познавательных интересов учащихся педагогу необходим поиск эффективных форм, моделей, способов и условий обучения. Таким образом, на первый план выходит проблема активизации деятельности учащихся в процессе обучения.

Возникновение интереса к математике у значительного числа учащихся зависит от методики её преподавания, от того, насколько умело будет построена учебная работа. Необходимость включения каждого ученика в деятельность обеспечивает формирование и развитие познавательных потребностей – познавательных мотивов. Это особенно важно в подростковом возрасте, когда ещё формируются, а иногда и только определяются постоянные интересы и склонности к тому или иному предмету[1].

Геометрия, как школьная дисциплина, может обеспечивать готовность человека к непрерывному образованию и самообразованию в самых различных областях человеческой деятельности [1, с. 4], но при ее изучении у большинства школьников возникают трудности.

Одной из причин плохого усвоения геометрии является недостаточная практическая ориентированность обучения, в результате чего геометрия превращается в сугубо

© Юдина А.В., Шеремет Г.Г., 2016 г.

теоретический предмет. Одним из механизмов развития геометрического мышления может стать совместное изучение геометрии и оригами.

Обучение геометрии с использованием оригами может проходить в два этапа:

1) первый этап – пропедевтический курс «Оригами и геометрия»;

2) второй этап – использование оригами в изучении отдельных тем школьного курса геометрии.

На первом этапе происходит введение в мир оригами, освоение техники выполнения изделий и формирование навыка работы с бумагой, знакомство с условными знаками и основными приемами складывания, знакомство с базовыми формами и схемами, позволяющими провести преобразования с бумагой[2, с. 47].

Первое знакомство ребенка с геометрическими фигурами происходит ещё в раннем детстве. Играя, например, в кубики, он формирует представления о величине геометрической фигуры, о равновеликости геометрических фигур и о подобии таких фигур. Используя в игре различные сборные конструкции, ребенок учится различать фигуры по внешнему виду, происходит знакомство с первыми геометрическими терминами. Начинают зарождаться воображение и наглядно-образное мышление, которые наиболее полно развиваются на стыке старшего дошкольного и младшего школьного возраста. На этом этапе учащиеся знакомятся с основными геометрическими фигурами (треугольник, прямоугольник, квадрат, ромб, четырехугольник), понятиями (сторона, угол, вершина угла, диагональ, центр фигуры) и их свойствами. Изучение геометрического материала, в основном, происходит на наглядно-образном уровне. Что же происходит дальше? Перейдя в пятый, а затем в шестой класс, учащиеся почти забывают все то, чему их так старательно учили в начальной школе. Программа по математике 5, и особенно 6 классов содержит очень мало геометрического материала, изучается он эпизодически. Чтобы это исправить можно в математику 5-6 классов включить элементы оригами.

На основе учебников «Математика. 5 класс» и «Математика. 6 класс» (авторы Виленкин Н.Я., Жохов В.И. и др.) были разработаны методические рекомендации по включению оригами в уроки математики.

Таблица 1. Анализ учебника.

№ параграфа	**Тема**	**Применение оригами**	**Номера заданий, которые можно предварительно выполнить методом оригами**
Тема 2. Сложение и вычитание дробей с разными знаменателями			
10	Приведение дробей к	Деление окружности на равные	№287

	общему знаменателю	части с помощью перегибания листа	

продолжение табл. 1.

Тема 3. Умножение и деление обыкновенных дробей			
14	Нахождение дроби от числа	Пирамида: развертки, номограммы	№535, 558
19	Дробные выражения	Призма: развертки	№721, 771
Тема 5. Положительные и отрицательные числа			
26	Координаты на прямой	Рассмотреть с помощью оригами понятие центральной симметрии, центрально симметричных фигур Цилиндр. Развертка	№916
28	Модуль числа. Решение уравнений со знаком модуль	Конус. Развертка	№962
29	Сравнение чисел	Рассмотреть с помощью оригами понятие осевой симметрии	

Например, как реализовать изучение темы «Симметрия». Представление о симметричных точках и фигурах можно сформировать через рассмотрение различных картинок и орнаментов, определение особенностей расположения точек или элементов фигуры. Затем построить точки и ввести соответствующие термины. Далее, используя определения, учащиеся должны установить, являются ли две точки симметричными относительно некоторой точки или прямой.

При изучении центральной симметрии с помощью оригами можно решить задачи:

Задача 1: С помощью перегибаний найдите центр симметрии квадрата.

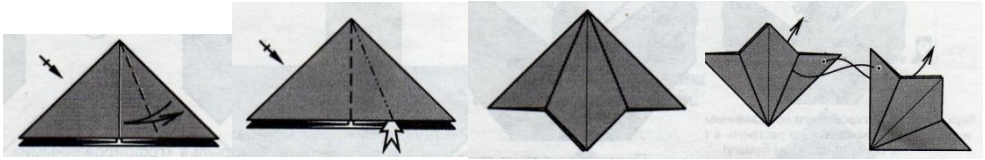
Задача 2: С помощью перегибаний найдите центр симметрии прямоугольника.

Задача 3: С помощью перегибаний найдите центр симметрии круга.

Задача 4: С помощью перегибаний найдите центр симметрии правильного шестиугольника.

Задача 5: Есть ли центр симметрии у равностороннего треугольника?

В конце урока предложить учащимся собрать орнамент, имеющий центр симметрии (автор – Татьяна Юрьевна Погребняк. Россия).



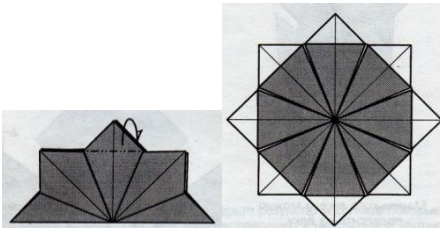


Рис. 1. Орнамент.

В конце урока рекомендуется выполнить с учащимися фигурку оригами, при выполнении которой используются знания, которые были изучены на уроке, чтобы мотивировать учащихся на следующий урок.

Библиографический список

1. Активизация познавательной деятельности на уроках математики [Электронный ресурс] URL: http://festival.1september.ru/articles/559342/ (дата обращения: 5.04.2016).
2. *Мерлина Н. И.* Дополнительное математическое образование школьников и современная школа: (Состояние. Тенденции. Перспективы) / Н. И. Мерлина. – М. : Гелиос АРВ, 2000. – 177 с.

APPLICATION ORIGAMI PROPAEDEUTIC COURSE OF GEOMETRY

Yudina Aleksandra V., Sheremet Galina G.

Perm State Humanitarian Pedagogical University, st. Sibirskaya, 24, Perm, Russia, 614990, aliks.fly@mail.ru

In conditions of low level of cognitive interests of students the teacher needs to seek effective forms, models, methods and learning environments. The emergence of interest in mathematics in a significant number of students depends on the methods of teaching it, how skillfully academic work will be built. One of the mechanisms of development of geometric thinking can become a joint study of geometry and origami. On the basis of the textbook "Mathematics. Grade 5 "and" Mathematics. 6 Class "(authors: N. Vilenkin, Zhokhov VI et al.) Have developed guidelines for incorporating lessons in origami mathematics.

Key words: origami, propaedeutics.

УДК 372.851

ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНСТВА МАТЕМАТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ НАГЛЯДНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Юрченко Дарья Владимировна

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Сибирская, 24,yurchenko.dasha@mail.ru

Данная статья посвящена актуальной проблеме интеграции математического учебного содержания, а также, формирования единства математических знаний обучающихся. Проанализирована необходимость такого формирования для постижения адекватного смысла изучаемого материала, установлению существенных связей между математическими дисциплинами, демонстрации их целостности и системности усвоения. Описана возможностькомплексного подхода к обучению математики для развития творческих способностей обучающихся, их личностного опыта, повышения интереса к предмету, развития профессиональных навыков. В статье сделан акцент на применении концепции наглядного моделирования для решения изложенных проблем интеграции математических знаний.

Ключевые слова: единство математических знаний, дифференциация, интеграция математических дисциплин, познавательный интерес, наглядное моделирования, целостность математических объектов, перцептивность образа.

Происходящие в современном обществе изменения требуют переориентации целей образования. Согласно требованиям ФГОС ВО-3+ область профессиональной деятельности бакалавров по направлению подготовки «математика» включает научно-исследовательскую деятельность в областях, использующих математические методы и компьютерные технологии; нахождение верного решения различных задач с использованием математического моделирования; разработку эффективных методов познания и освоения проблем естествознания, техники, экономики, управления и т.д. Ожидание государства – это выпускник, открывающий профессиональные горизонты на основе применения основных понятий, идей и методов фундаментальных математических дисциплин в области изыскательной, производственно-технологической, организационно-управленческой, преподавательской деятельности, с использованием актуальных методов анализа и информационных технологий [2]. Следовательно, сегодняшний этап развития математического образования, характеризуется демонстрацией углубленного взаимодействия отдельных отраслей изучаемого предмета, а также усилением межпредметных связей математики с естественными, социальными, гуманитарными науками.

© Юрченко Д.В., 2016 г.

Преподавание математических дисциплин, как *обособленных* учебных предметов, может привести к стагнации развития математической культуры студентов, а также к снижению динамики профессионального развития обучающихся. Обучаясь в вузе, студенту приходится овладевать достаточно большим объемом знаний, навыков и умений, многие из которых, как кажется ему на первый взгляд, не будут востребованы в будущей профессиональной деятельности. Поэтому, если к такому прагматичному отношению добавляются факторы сложности учебного материала, повышенной нагрузки по предмету и др., то познавательный интерес к изучению дисциплины резко снижается, что приводит к избирательной направленности учебной деятельности студентов, обращенной к той области знания или математической дисциплине, которая наиболее доступна для понимания. Подобная дифференциация приводит к освоению теоретических знаний студентами лишь на минимально необходимом для дальнейшей профессиональной деятельности уровне. Узкие практические умения и навыки, слабые владения всем комплексом математических дисциплин, отсутствие понимания логических взаимосвязей предметов, формальный подход к проблемам, позволяют решать исключительно типовые задачи, строить модели только по известному алгоритму.Таким образом, важно продемонстрировать студенту устойчивую взаимосвязь различных областей математики как единую систему научного знания.

При обучении высшей математике в вузе формальной схематической демонстрации существенных связей между математическими объектами уже не достаточно. Это зависит от нескольких факторов. Можно, например, выделить следующие:

1. Значительно ограниченное по сравнению с прежним количество часов, выделяемых на изучение предмета, и в связи с этим наблюдаемое преимущество лекционного обучения со всеми его составляющими перед необходимостью модернизации, так как любая современная дидактическая технология требует б*о*льших затрат учебного времени, чем объяснительно-иллюстративная подача материала.

2. Явное расхождение теоретических знаний и практических навыков, т.е. формальное владение студентами теоретическим материалом не подразумевает способность приложения изученной теории к решению практических задач.

3. Недостаточное наличие научно-теоретического сопровождения обучения математике для осуществления требований современных реалий и социального заказа общества. Иными словами, имеется малое количество методических разработок для работы в инновационном ключе.

4. Высокая степень сложности и абстрактности изучаемого предмета, а также ограниченность строгими рамками формально-логического аппарата математики. Какой бы

подход к обучению ни применялся, не допускаются «незаконные» обобщения, необоснованные аналогии, отрицательные определения и т.д.

5. Слабая преемственность между школьным и вузовским образованием. Зачастую наблюдается низкая адаптация учащихся старших классов к вузовским методам и формам обучения. Выпускники школ подчас не владеют достаточной системой навыков самостоятельной учебной работы, умственной деятельности. Также негативно сказывается целенаправленная подготовка старшеклассников к выпускным экзаменам в виде решения тестовых заданий, которая осуществляется, как правило, в ущерб полноценному усвоению программы старшей школы.

6. Низкий уровень мотивации студентов. Если процесс обучения в вузе сводится к формальной подаче минимально необходимого учебного материала, «нарешиванию» задач, направленных исключительно на закрепление полученных теоретических знаний, без учета актуальных потребностей обучающихся в профессиональном и личностном развитии, то подобный подход неизбежно приведет к утрате познавательного интереса студентов, и возможно, к разочарованию в выборе специальности.[1].

В этих условиях, крайне важно выстроить такую дидактическую систему работы со студентами, которая не только бы отражала глубокую взаимосвязь математических объектов и различных математических дисциплин, но и способствовала повышению уровня познавательной активности обучающихся через раскрытие значимости изучаемой области знаний в профессиональном становлении, через нестандартный подход к организации процесса овладения предметными навыками и умениями. Кроме того, одним из ключевых пунктов профессионального развития студентов является опыт собственной деятельности, поэтому одна из основных задач преподавателя – обеспечить максимальную активность обучающегося в процессе обучения и познания [1].

Наиболее доступно донести учебный материал до студентов, повысить их познавательный интерес, добиться успешности в формировании понятийного и логического аппарата математики, сформировать более высокий уровень математической культуры, что, в свою очередь, способствует становлению высокой профессиональной подготовленности будущих бакалавров, позволяет концепция наглядного моделирования.

Наглядное моделирование в обучении математике – процесс формирования адекватного поставленной цели устойчивого результата внутренних действий обучающихся на основе моделирования существенных свойств, отношений, связей и взаимосвязей при непосредственном восприятии приемов знаково-символической деятельности с отдельным математическим знанием или упорядоченным набором знаний[1, стр. 18].

Концепция наглядного моделирования ориентируется на рассмотрение принципа наглядности в целостном процессе обучения математике. В теоретической основе данной концепции лежит задача подготовки будущего бакалавра с «заданными характеристиками высокого уровня обученности» [1, стр. 20]. Практическая составляющая выражается в: конкретизации теоретических знаний через закрепление базовых учебных элементов блоком прикладных задач, направленных на диагностируемость целостности изучаемого математического объекта; обеспечении устойчивости перцептивного образа математического объекта в представлении обучающихся; самостоятельной творческой активности студентов, с учетом их профессиональных потребностей.

Библиографический список

1. Наглядное моделирование в обучении математике: теория и практика: Учебное пособие/ Под. Ред. Е.И. Смирнова. Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2007. 454 с
2. Федеральный государственный стандарт высшего профессионального образования по направлениям подготовки бакалавриата: приказ Минобрнауки России от 13.101.2010 № 8. [Электронныйресурс]. URL: http://xn-80abucjiibhv9a.xn-p1ai.

*THE*UNITY CREATION OF MATHEMATICS KNOWLEDGES FOR STUDENTS OF *THE* CONCEPT VISUAL MODELATION

Yurchenko Daria V.

Perm State Pedagogical University, st. Siberian, 24, Perm, Russia,
614990,yurchenko.dasha@mail.ru

This article is devoted to the urgent problem of the mathematical's learning content integration aswell as the formation of the mathematical's knowledge unity for students. Need of such formation for comprehension of the adequate sense of the studied material, forestablishment of the essential communications between mathematical disciplines, for demonstrationof their integrity and systemacity of assimilation is analysed. The possibility of an integratedapproach to studying mathematics for the development of students' creative abilities, their personalexperience, increasing the interest in the subject, for professional skills' development is described. The emphasis on the application of the concept evident modeling for the solution of the statedproblems of mathematical's knowledge integration is placed in the article.

Key words: the unity of mathematical knowledge, differentiation and integration of mathematical disciplines, the cognitive interest, the visual simulation, the integrity of the mathematical objects, the perceptual images.

Научное издание

МАТЕМАТИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ – 2016

Сборник докладов всероссийской научно-практической
конференции молодых ученых с международным участием

(г. Пермь, 16-19 мая 2016 года)

Издается в авторской редакции
Техническая подготовка и обработка материалов *И. А. Горяева, Д. Н. Мухутдинова*

Подписано к использованию 13.05.2016 г.
Объем данных 12 Мб. Тираж 100 экз.

Экземпляр электронного издания включает в себя
1 CD-R, 1 пластиковый бокс, 1 вкладыш в пластиковый бокс

Издательский центр
Пермского государственного
национального исследовательского университета
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Организаторы:

При поддержке:

Министерство культуры, молодежной политики и массовых коммуникация Пермского края

Министерство образования и науки Пермского края

Министерство информационного развития и связи

Спонсоры и партнеры: