

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Челябинский государственный университет»
ФГБУН «Институт системного анализа Российской академии наук»
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

Труды Четвертой Международной научной конференции

Банное, Россия, 25 февраля — 1 марта 2015 года

Научное электронное издание

Челябинск
Издательство Челябинского государственного университета
2015

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

Челябинский государственный университет
Институт системного анализа РАН
Уфимский государственный авиационный технический университет

Подготовлено по решению редакционно-издательского совета
Челябинского государственного университета

И741 Информационные технологии и системы [Электронный ресурс] : тр. Четвертой Международ. науч. конф., Банное, Россия, 25 февр. — 1 марта 2015 г. (ИТиС – 2015) : науч. электрон. изд. (1 файл 10,3 Мб) / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015. 1 опт. диск. Систем. требования : PC не ниже класса Pentium I; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 17,9 Mb; Windows не ниже 95/98; Adobe Acrobat Reader (19,6 Мб); дисковод DVD-ROM; мышь.

ISBN 978-5-7271-1289-2

Тематика конференции ориентирована на преподавателей, ученых и специалистов, занимающихся исследованиями в области математического моделирования, теории управления, компьютерной лингвистики, интеллектуальных интернет-технологий и семантического Web, инженерии знаний, онтологий, управления знаниями, цифровой обработки изображений и сигналов, разработки интеллектуальных и мультиагентных систем, разработки систем поддержки принятия решений, распределенных и облачных вычислений, системного анализа и моделирования бизнес-процессов.

ББК 381я431+397я431

ISBN 978-5-7271-1289-2

© ФГБОУ ВПО «Челябинский государственный университет», 2015

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ:

Председатель: Ю. С. Попков, член-корреспондент РАН, Институт системного анализа РАН, Россия

Заместитель председателя: А. В. Мельников, директор Института информационных технологий Челябинского государственного университета, Россия

Члены комитета:

B. Wenzel, University of Applied Sciences, Австрия

B. Blessing, University of Applied Sciences, Австрия

J. Ovcharova, Karlsruhe Institute of Technology, Германия

Е. М. Абакумов, Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова, Россия

В. Л. Арлазаров, член-корреспондент РАН, Институт системного анализа РАН, Россия

В. И. Васильев, Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия

В. Э. Вольфенгаген, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Россия

А. В. Вохминцев, Челябинский государственный университет, Россия

О. Н. Дементьев, Челябинский государственный университет, Россия

В. И. Кобер, Центр научных исследований и высшего образования, Департамент компьютерных наук, Энсенада, Мексика

Г. Г. Куликов, Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия

С. В. Матвеев, член-корреспондент РАН, Челябинский государственный университет, Россия

В. В. Мартынов, Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия

Л. В. Массель, Институт систем энергетики РАН, Россия

Г. С. Осипов, Институт системного анализа РАН, Россия

А. В. Панюков, Национальный исследовательский Южно-Уральский государственный университет, Россия

А. Б. Петровский, Институт системного анализа РАН, Россия

А. А. Петунин, Уральский федеральный университет, Россия

С. А. Петунин, Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н. Л. Духова, Россия

С. В. Смирнов, Институт проблем управления сложными системами РАН, Россия

А. А. Соловьев, Челябинский государственный университет, Россия

С. В. Тархов, Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия

В. И. Ухоботов, Челябинский государственный университет, Россия

А.Г. Ченцов, Институт математики и механики Уральского отделения РАН, Россия

Л. Р. Черняховская, Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия

Н. И. Юсупова, Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия

ОРГКОМИТЕТ:

Председатель:

А. В. Вохминцев (Челябинский государственный университет), тел.: +7 (351) 799-72-88, vav@csu.ru

Члены оргкомитета:

Н. А. Юрина (Челябинский государственный университет), тел.: 7 (351) 799-72-88, una@csu.ru

М. Ю. Косенко (Челябинский государственный университет), тел.: +7 (351) 799-72-88, kosenko@csu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ

Бабина О. И., Панюков А. В. Байесовский классификатор именованных сущностей в тексте на естественном языке	7
Гвоздев В. Е., Ахуньянова К. Б. Анализ влияния структурных решений и интервальных характеристик надежности комплектующих элементов на характеристики надежности радиоэлектронной аппаратуры.....	10
Гвоздев В. Е., Субхангулова А. С., Бежаева О. Я. Оценка количества дефектов в программных модулях на основе показателей сложности.....	12
Дементьев О. Н. Устойчивость конвективного течения жидкости в вертикальном слое с теплоизолированными границами.....	15
Макаровских Т. А. Покрытие графа для прямоугольного раскройного плана АОЕ-цепями	17
Матвеев Т. А. Многомерные многообразия и объединения вокселей.....	19
Нургатин А. Р. Уменьшение вычислительной сложности алгоритма FREAK.....	20
Панюков А. В. Полиномиальный алгоритм для задачи коммивояжера.....	23
Попков Ю. С. Параллельный Монте-Карло для глобальной оптимизации	25
Сесекин А. Н., Шолохов А. Е. Эвристические алгоритмы в задачах маршрутизации перемещений	34
Старостин Н. Д. Усовершенствование и детализация метода поуровневых исключений для оптимизации перемещений инструмента	36
Таваева А. Ф., Петунин А. А. Определение поправочных коэффициентов для скорости рабочих переходов инструмента в целевой функции для задач оптимизации маршрута инструмента	48
Ченцов А. Г. Экстремальная маршрутизация перемещений в условиях ограничений	51
Шориков А. Ф. Методика двухуровневого минимаксного программного управления экономической безопасностью региона.....	53
Шориков А. Ф., Буценко Е. В. Формирование сетевой модели финансового анализа инвестиционных проектов	55
Ячиков И. М. Математическое моделирование напряженности магнитного поля и положения равновесия тела во взвешенном состоянии в высокочастотном индукторе	57
Ячиков И. М., Костылева Е. М. Математическое моделирование локальных и среднеинтегральных сил, действующих на дугу в трехфазной дуговой печи	64

СЕКЦИЯ 2. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Бленда Н. А. Обзор русскоязычных тезаурусов для решения задачи расчета семантической близости между научными публикациями.....	70
Боргест Н. М., Громов А. А. Применение робота-проектанта в концептуальном проектировании самолета	75

Ботов Д. С., Мельников А. В. Применение онтологического подхода в задаче автоматизированного формирования набора учебных курсов на основе интеллектуального анализа результатов обучения	79
Давлетбаева А. Р., Черняховская Л. Р. Применение моделей и методов интеллектуальной поддержки принятия решений для обеспечения результативности процесса дистанционного обучения	84
Захарова И. В., Тимченко М. С. От «больших данных» к прогнозной аналитике. возможности прогнозной аналитике в вузе	87
Коварцев А. Н., Смирнов В. С., Смирнов С. В. Интеллектуализация формирования контекста для вывода понятийной структуры предметной области	90
Мясников Н. С. Обзор методов Text mining	92
Осипов Г. С. Когнитивное мета моделирование	94
Степановская И. А. Приобретение знаний для многоагентного риск-контроллинга нелинейных развивающихся систем, основанное на фрактальной онтологии динамики синергетических эффектов	101
Чекалов Л. Л. Память и внимание в биологических и информационных системах	104
Юсупова Н. И., Сметанина О. Н., Климова А. В. Организация информационной поддержки принятия решений при управлении образовательным маршрутом на основе онтологии	109

СЕКЦИЯ 3. СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЙ РЕШЕНИЙ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Боргест Н. М. Проблемы в информационном высокотехнологичном обществе: опыт одного путешествия	112
Вербов Д. В., Лавринчук Р. В. Автоматизация статического и динамического анализа информационных систем в условиях интеграции	115
Гвоздев В. Е., Бежаева О. Я., Курунова Р. Р. Использование аппарата «Дом качества» в анализе проектных решений при разработке радиоэлектронных модулей	118
Горбатова Е. А., Зарецкий М. В. Экспертная система для выбора технологии глубокой переработки отходов горно-обогатительного и металлургического производства	120
Иванов К. В. Разработка систем мониторинга для высокопроизводительных вычислительных систем	123
Кияева А. А. Разработка комплекса программ выбора рациональных параметров гасителя пульсаций давлений	126
Косенко М. Ю., Мельников А. В. Кооперация агентов многоагентной системы идентификации ботнетов	128
Максимов М. А., Логунова О. С. Проектные решения для программного обеспечения гранулометрической оценки материалов	131
Марков А. С. Оценка соответствия средств защиты информации требованиям по безопасности информации: смена парадигмы	134
Петунин С. А. Методика начального анализа рабочей нагрузки вычислительных кластеров	137
Розанова Л. Ф., Лакман И. А., Максименко З. В. Информационная поддержка формирования стратегии взыскания просроченной задолженности на основе коллекторского скоринга	139

Савченко О. В., Куреннов Д. В.

Аппаратное обеспечение системы поддержки принятия решений робота С'АРДУ 141

Скрипов С. А.

Частные облачные решения: технологии и имитационное моделирование..... 144

СЕКЦИЯ 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ, ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОБРАЗОВАНИИ

Абакумов Е. М., Агулова Д. М.

Порядок создания автоматизированных систем на предприятиях приборостроения..... 146

Гвоздев В. Е., Блинова Д. В., Байтимирова Г. Ф.

Анализ качества автоматизированной обработки данных в сфере ЖКХ на основе AFD-методологии..... 149

Каменских И. Г.

Перспективы квантовых информационных технологий в Российской Федерации. Разработка и использование 152

Козырев Д. Б., Абакумов Е. М.

Типизация 3D-моделей деталей в соответствии с целями использования моделей..... 155

Козько А. А.

О средствах организации информационного взаимодействия в дистанционном образовании 158

Козько А. А., Мельников А. В.

Расширение среды адаптивного образовательного форума с помощью поисковых систем 162

Массель Л. В., Массель А. Г.

Инструментальные средства ситуационного управления в энергетике 168

Матковская О. Ю.

Разработка подсистемы конструирования электронного контента на основе шаблонов
в системах электронного обучения 173

Мельников А. В., Кузенбаев Б. А., Кузенбаева А. А.

Онтологическая модель автоматизированной информационной системы вуза..... 177

Мельников В. А., Курамшин Д. В., Кушева Д. С.

Анализ корреляции частоты появления сообщений в СМИ и движения курса валюты..... 179

Надточий И. Л.

Методика повышения степени интеллектуальности автоматизированных обучающих систем,
поддерживающих профессиональную переподготовку ИТ-специалистов 181

Нурмурахметов И. А.

Использование мониторинга активности студентов в процессе дистанционного образования
для прогнозирования их образовательной траектории 184

Саитова Г. А., Сабитов И. И., Халикова Е. А.

Информационное обеспечение процесса проектирования многосвязной системы автоматического
управления с требуемыми запасами устойчивости 187

Сметанина О. Н., Наумова Т. В., Гаянова М. М.

Реализация подхода к обеспечению управлением уровня физического развития
студентов на основе интеллектуальных технологий 190

Старцева О. Г., Парфирьев А. В., Богданова Д. Р.

Построение ИТ-инфраструктуры образовательного учреждения
для организации дистанционного обучения..... 194

Трубецкая Г. А., Надточий И. Л.

ИТ-технологии для повышения степени интеллектуальности ERP-систем 197

Шахмамбетова Г. Р.

Анализ жизненного цикла объекта управления в сложных системах в контексте подхода
на основе антикризисного управления 202

ABSTRACTS..... 205

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ..... 213

БАЙЕСОВСКИЙ КЛАССИФИКАТОР ИМЕНОВАННЫХ СУЩНОСТЕЙ В ТЕКСТЕ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ

Представлен метод распознавания и классификации именованных сущностей. В методе используется подход обучения с учителем. Построен Байесовский классификатор, позволяющий определять класс сущностей, представленных с помощью векторов бинарных значений признаков. В отличие от наивного Байесовского подхода, осуществляется отход от предположения о независимости признаков за счет использования в работе классификатора полной базы примеров из учебной коллекции.

Понятие именованной сущности (*named entity*) было сформулировано в 1990-х гг. на конференции по пониманию сообщений (Message Understanding Conferences), посвященной проблемам извлечения информации из текстов. Под именованными сущностями понимаются элементы текста, обозначающие персону, название организации, обозначение места, а также некоторые числовые данные: даты, время, валюту, процентные данные [1].

Таким образом, понятие именованной сущности пересекается с ономастикой (так как первичная номинация персон, организаций и мест выполняется с помощью имен собственных). Синтаксически именованные сущности, как правило, выражены именными группами, включающими именованную сущность, представленную главным или определяющим существительным. В редких случаях — отсылка на объект именованной сущности осуществляется путем деноминативных прилагательных (европейский, викторианский и т. п.).

Задача идентификации именованных сущностей (при рассмотрении «текстовых», в отличие от «числовых», сущностей, таких как персона, место, организация) для большинства европейских языков решается как поиск в тексте лексических единиц с капитализацией первого символа. В дальнейшем для решения задачи извлечения фактов эту процедуру можно усложнить, дополнив поиском кореферентных лексических единиц.

Далее встает задача классификации идентифицированных объектов — отнесение к одному из классов именованных сущностей.

Формально задачу классификации можно представить следующим образом. Рассматривается текст на естественном языке. Отдельные слова и устойчивые словосочетания далее будем называть объектами. Пусть O — множество всех объектов, C — множество классов именованной сущности, к которому может быть отнесен объект $o \in O$ в анализируемом тексте.

При решении задачи распознавания именованной сущности (объекта) $o \in O$ в корпусе текстов определяется набор признаков $\bar{f} = \{f_t\}_{t \in T}$ на основании которых объекты $o \in O$ будут сопоставляться. В общем случае, признак f_t может иметь булево, числовое или

номинативное значение. Мы рассматриваем только булевы признаки:

$$(\forall o \in O) \left(f_t(o) = \begin{cases} 1, & \text{если признак } t \text{ выполняется для } o, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \right).$$

Объекты o_1, o_2 : $\bar{f}(o_1) = \bar{f}(o_2)$ считаются эквивалентными. При невозможности отождествления объектов o_1, o_2 : $\bar{f}(o_1) = \bar{f}(o_2)$ необходимо расширение множества T используемых признаков. Различным классам $c_1, c_2 \in C$ соответствуют непересекающиеся наборы признаков:

$$c_1 \neq c_2 \Rightarrow \{\bar{f}(o): o \in c_1\} \cap \{\bar{f}(o): o \in c_2\} = \emptyset.$$

Возникновение коллизий показывает необходимость расширения множества классов.

Таким образом, задача распознавания именованных сущностей представляет собой задачу классификации объектов.

Для решения этой задачи существует следующие подходы.

1. Рационалистический подход: идентификация именованных сущностей осуществляется на основе продукционных правил, обычно собранных вручную. Правила, сформированные на основании лингвистического анализа корпуса текстов, позволяют создать шаблоны (например, в формате регулярных выражений), которые дают возможность идентифицировать именованные сущности на основе лексико-грамматических признаков текстовых единиц, их синтактики, орфографии, а также составить словники, необходимые для работы правил идентификации (см., например, [2–4]). Разрабатываются ряд проектов (например, Ontos-Miner, ИСИДА-Т) для русского и некоторых европейских языков, которые позволяют на основе применения синтаксических анализаторов, а также семантических словарей и онтологий, выделять из текстов интересующие пользователей сущности и идентифицировать отношения между ними.

2. Машинное обучение: задача поиска правил для идентификации именованных сущностей формулируется как решение задачи классификации с использованием статистических моделей. Методы машинного обучения, используемые для решения задачи, делятся на несколько этапов.

2.1. Обучение «с учителем»: обучение на основе учебной коллекции, включающей явно специфици-

рованные (вручную) именованные сущности. Методы этой группы оценивают параметры для положительно определенных примеров корпуса и при работе с новым корпусом используют значения этих параметров. Сюда относятся Байесовский классификатор, скрытые марковские модели, принцип максимума энтропии, деревья принятия решений, метод опорных векторов, условные случайные поля и др.

2.2. Частичное обучение «с учителем»: от предыдущего подхода отличается тем, что исходная учебная коллекция содержит очень маленький набор начальных данных. При помощи реализации метода бутстреппинга осуществляется итеративное обучение классификатора.

2.3. Обучение «без учителя»: для решения задачи не требуют предварительного создания корпуса примеров. Такие методы способны сделать вывод по «сырому» текстовому материалу.

3. Гибридный подход: объединяет методы двух подходов. Для выявления набора признаков применяется лингвистический анализ, далее числовые показатели, соотносящиеся с выявленными признаками, определяются с помощью методов машинного обучения.

В данной работе для решения задачи классификации определена функция Classifier: $O \rightarrow C$, которая находит класс $c \in C$, которому соответствует максимальная степень принадлежности объекта $o \in O$.

Ключевым компонентом здесь является этап определения множества признаков, оказывающих влияние на классификацию объектов — это основная задача, которая решается индивидуально, и, в конечном счете, выбор признаков, при сходстве подходов к оценке, предопределяет качество работы конкретного алгоритма. Для задачи распознавания и классификации именованных сущностей релевантными признаками могут являться капитализация, наличие в составе слова специальных символов, частота, наличие определенных контекстов, позиция в предложении, наличие определенных морфологических элементов в составе слова, грамматические характеристики слова и т. д. (в [5] представлен довольно полный обзор часто используемых признаков).

Для построения классификатора составляется учебная коллекция $\tilde{O}$ текстов, где в явной форме для некоторых объектов $o \in \tilde{O}$ обозначено их соответствие определенному классу $c \in C$.

Индикатором принадлежности объекта $n \in O$, эквивалентного некоторому объекту $o \in \tilde{O}$, заданному классу $c \in C$ является функция

$$\begin{aligned} \text{BoolClassifier}(n, c) &= \bigcup_{o \in c} (\bar{f}(n) = \bar{f}(o)) = \\ &= 1 - \prod_{o \in c} \max_{t \in T(o)} |f_t(n) - f_t(o)|, \end{aligned}$$

где $T(o) \subset T$ — множество значимых признаков для объекта $o \in c \cap \tilde{O}$.

Легко проверить, что из существования такого $o \in c \cap \tilde{O}$, что $\bar{f}(n) = \bar{f}(o)$ следует $\text{BoolClassifier}(n, c) = 1$,

а в противном случае $\text{BoolClassifier}(n, c) = 0$. Функция BoolClassifier не позволяет определить класс объектов $o \in O$ вне имеющих эквивалентных представителей в учебной коллекции $\tilde{O}$. Следовательно, данный индикатор не может быть использован для построения функции Classifier.

Рассмотрим нечеткий индикатор

$$\text{FuzzyClassifier}(n, c) = 1 - \prod_{o \in c} \left[\frac{1}{|T(o)|} \sum_{t \in T(o)} |f_t(n) - f_t(o)| \right].$$

Утверждение

$(\forall n \in O, \forall c \in C) \times$

$\times (\text{BoolClassifier}(n, c) \leq \text{FuzzyClassifier}(n, c) \leq 1).$

Доказательство. Первое неравенство есть следствие того, что максимальное значение элементов числового множества не меньше их среднего арифметического. Второе неравенство очевидно. Утверждение доказано ■

Легко убедиться, что при полном совпадении n с одним из $o \in c \cap \tilde{O}$ значение индикатора FuzzyClassifier совпадает со значением BoolClassifier и равно 1. Каждый сомножитель произведения в формуле для FuzzyClassifier представляет собой долю несовпадающих координат информационных векторов $\bar{f}(n)$ и $\bar{f}(o)$, $o \in c \cap \tilde{O}$, то есть может быть интерпретирован как мера различия объектов n и o или как вероятность $\mathbb{P}\{n \neq o : o \in c \cap \tilde{O}\}$. Тогда все произведение можно интерпретировать как степень того, что объект n не эквивалентен ни одному из объектов $o \in c \cap \tilde{O}$, или вероятность $\mathbb{P}\{\bar{f}(n) \mid n \notin c\}$ того, что объект n , не принадлежащий классу c , характеризуется определенным вектором признаков $\bar{f}(n)$. Следовательно, индикатор $\text{FuzzyClassifier}(n, c)$ интерпретируется как вероятность противоположного события, состоящего в том, что вектор признаков характеризует объект n , который принадлежит классу c , или как условную вероятность $\mathbb{P}\{\bar{f}(n) \mid n \in c\}$, или проще $\mathbb{P}\{\bar{f} \mid c\}$.

В терминах условных вероятностей задача классификации может быть переформулирована как поиск вероятности $\mathbb{P}\{c \mid \bar{f}\}$ того, что класс c является истинным классом для объекта n , при условии что последний представлен вектором признаков $\bar{f}(n)$. Таким образом, нечеткий индикатор $\text{FuzzyClassifier}(n, c)$ может быть использован для построения классификатора на основе теоремы Байеса:

$$\text{Classifier}(n) = \arg \max_{c \in C} [\text{FuzzyClassifier}(n, c) \cdot |c \cap \tilde{O}|].$$

Классификатор FuzzyClassifier использует в своей работе примеры объектов класса c , что позволяет учитывать вероятности не отдельных признаков, а их наборов для репрезентации объектов из класса c .

Для реализации функции $\text{FuzzyClassifier}(n, c)$ Classifier: $O \rightarrow C$ разрабатывается комплекс программ для ЭВМ. В состав комплекса входят:

– библиотека T тестеров: каждый тестер представляет функцию $t(o)$, определяющую истинность некоторого утверждения о характеристиках переданного объекта $o \in O$;

- база данных $\tilde{O}$ объектов учебной коллекции: для $o \in \tilde{O}$ каждого объекта определены его класс, список значимых тестов и их значений;
- функция $\text{FuzzyClassifier}(o)$, возвращающую класс, степень принадлежности которому объекта o максимальна; данная функция также собирает статистику о классах.

Библиографический список

1. Sundheim, Beth M. Overview of Results of MUC-6 Evaluation [Электронный ресурс] / Beth M. Sundheim // Sixth Message Understanding Conference (MUC-6): Proceedings of a Conference (Columbia, Maryland, November 6–8 1995). Morgan Kauffman Publishers Inc., 1995. P. 13–32. URL: <http://aclweb.org/anthology/M/M95/M95-1002.pdf>.
2. Lappin, S. An Algorithm for Pronominal Anaphora Resolution / Shalom Lappin, J. Leass Herbert // Computational Linguistics. 1994. Vol. 20, №. 4. P. 535–561.
3. Bontcheva, K. Cunningham. Shallow Methods for Named Entity Coreference Resolution [Электронный ресурс] / Kalina Bontcheva, Marin Dimitrov, Diana Maynard at el. // Chaînes de references et solveurs d'anaphores, workshop TALN (Nancy, 24–27 June 2002). URL: <http://user.phil-fak.uni-duesseldorf.de/~rumpf/SS2008/IE/Pub/BonDimMay02.pdf>.
4. Sparks, N. L. UDel: Named Entity Recognition and Reference Regeneration from Surface Text / Nicole L. Sparks, Charles F. Greenbacker, F. Kathleen at el. // Proceedings of the 6th International Natural Language Generation Conference (Trim, Co. Meath, Ireland, July 7–9 2010). Dublin, 2010. P. 241–242.
5. Nadeau, D. A. Survey of Named Entity Recognition and Classification / D. A. Nadeau, Satoshi Sekine // Recognition, Classification and Use, Benjamins Current Topics 19. NY ; Lisbon : John Benjamins Publishing, 2009. P. 3–27.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ И ИНТЕРВАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ КОМПЛЕКТУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

Исследования проводились в рамках грантов РФФИ № 13-08-00968, № 14-08-97036

Посвящено исследованию влияния структуры изделия и интервальных характеристик надежности комплектующих элементов на характеристики надежности радиоэлектронной аппаратуры на основе технологии полного факторного эксперимента. Представлены результаты вычислительного эксперимента для случаев последовательного и параллельного соединения комплектующих элементов.

Известные методы расчета надежности по последовательно-параллельным логическим схемам позволяют оценить влияние структуры и характеристик надежности элементов на значение характеристик надежности изделия. Вместе с тем, требуют дополнительных исследований подходы к решению задачи количественного оценивания влияния структурных решений и интервальных значений характеристик надежности элементов на значения характеристик надежности радиоэлектронной аппаратуры (далее — РЭА).

Важность решения этой задачи обусловлена необходимостью разработки инструментов для проведения комплексного сравнительного анализа альтернативных вариантов проектных решений изделий по совокупности критериев качества, в число которых входят показатели надежности.

В настоящей статье в качестве методической основы решения задачи анализа влияния структуры изделия и интервальных оценок характеристик надежности элементов на характеристики надежности РЭА выбрана технология полного факторного эксперимента.

Основанием к этому служат соображения, изложенные в [1; 2]. Поскольку эксперимент, направленный на получение оценок характеристик надежности РЭА, может быть модельным, формальные соотношения, позволяющие рассчитать показатели надежности системы при известных показателях надежности элементов, а также правила построения структурно-логических схем известны и закреплены в нормативных документах, является возможным построение адекватной, с точки зрения оценивания характеристик надежности, математической модели. Показатели надежности изделия возможно использовать в качестве отклика, поскольку эти показатели обладают свойством однозначности, имеют физический смысл и являются вычислимыми. При интервальных оценках характеристик надежности изделий возможно выделение качественных (структурно-логические схемы) и количественных (интервальные характеристики надежности элементов) факторов.

Следует отметить, что зачастую невозможно выбрать для изделия отклик, являющийся одновременно однозначным, эффективным, имеющим физический смысл и требующий приемлемых по сложности расчетов. Однако на стадии проектирования изделия надежность является эффективным промежуточным показателем.

В качестве моделей, устанавливающих связь отклика с факторами, по крайней мере, на начальных стадиях исследований, целесообразно использовать полиномиальные модели. Основания к выбору моделей этого класса достаточно подробно представлены в [1–3].

Схема расчета параметров полиномиальной модели для случая полного факторного эксперимента типа 2^k (k — число количественных факторов) подробно описаны в литературе. Математическая модель, описывающая объект, имеет вид

$$P_{\text{изд}} = a_0 + a_1 P^{(1)} + a_2 P^{(2)} + a_{12} P^{(1)} P^{(2)}.$$

В таблице приведены значения параметров модели для изделия, состоящего из двух элементов, для случая параллельного и последовательного соединения элементов. Значения получены в результате проведения вычислительного эксперимента. При расчетах номинальные значения характеристик надежности элементов (P_n), а также диапазоны варьирования характеристик относительно номинального значения (Δ) принимались одинаковыми. Таблица соответствует случаю, когда интервал варьирования соответствует 5 %.

Видно, что a_0 характеризует структуру изделия. Значение a_0 при последовательном соединении совпадает со значением, рассчитываемом по формуле

$$P = \prod_{i=1}^2 P_0^{(i)},$$

а при параллельном

$$P = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - P_0^{(i)}).$$

Также следует отметить, что при равных уровнях факторов $P_0^{(i)}$ и равных интервалах варьирования значения a_i ($i = 1, 2$) совпадают, что вполне закономерно, так как эти параметры характеризуют степень влияния $P^{(i)}$ на $P_{\text{изд}}$.

Параметры полиномиальной модели

P_n	$\Delta = 0,05 P_n$	Последовательное соединение				Параллельное соединение			
		a_0	a_1	a_2	$a_1 a_2$	a_0	a_1	a_2	$a_1 a_2$
0,9	0,045	0,81	0,0405	0,0405	0,00202	0,99	0,0045	0,0045	-0,00202
0,8	0,040	0,64	0,032	0,032	0,0016	0,96	0,008	0,008	-0,0016
0,7	0,035	0,49	0,0245	0,0245	0,001225	0,91	0,0105	0,0105	-0,001225
0,6	0,030	0,36	0,018	0,018	0,0009	0,84	0,012	0,012	-0,0009
0,5	0,025	0,25	0,0125	0,0125	0,000625	0,75	0,0125	0,0125	-0,000625
0,4	0,02	0,16	0,008	0,008	0,0004	0,64	0,012	0,012	-0,0004
0,3	0,015	0,09	0,0045	0,0045	0,000225	0,51	0,0105	0,0105	-0,00023

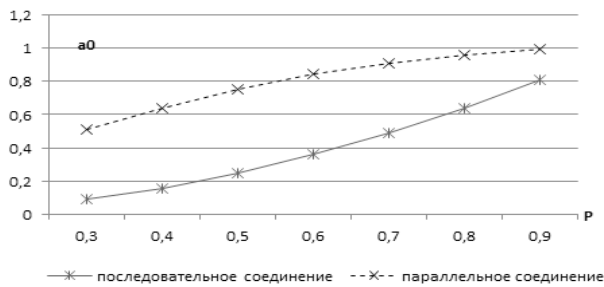


Рис. 1. Зависимость параметра a_0 модели от значений характеристик надежности элементов

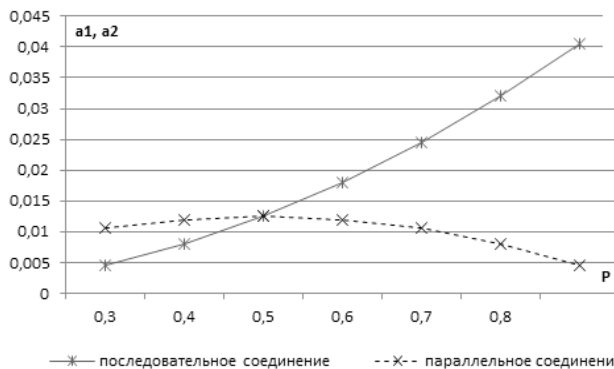


Рис. 2. Зависимость параметров a_1 , a_2 модели от значений характеристик надежности элементов

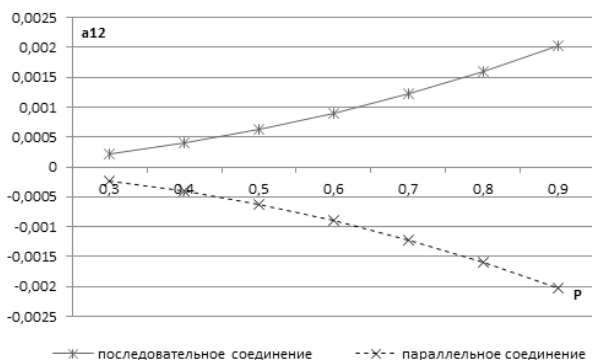


Рис. 3. Зависимость параметра a_{12} модели от значений характеристик надежности элементов

Параметр a_{12} характеризует совместное влияние характеристик надежности элементов на характеристику надежности изделия. При последовательном соединении элементов он имеет положительный знак, что указывает на то, что характеристики надежности каждого из элементов одинаково влияют на надежность изделия $P_{изд}$ (надежность изделия определяется самым «слабым» элементом). Если необходимо увеличить $P_{изд}$, нужно одновременно увеличивать все $P^{(i)}$ [4]. При параллельном соединении a_{12} является отрицательным, что свидетельствует о том, что характеристики надежности элементов по-разному влияют на надежность изделия (надежность изделия определяется самым «слабым» элементом). Если необходимо увеличить $P_{изд}$, достаточно увеличивать надежность одного из элементов.

На рис. 1–3 представлены графики, характеризующие изменение степени влияния структурного фактора и характеристик надежности элементов на характеристики надежности изделия в случае, когда изделие состоит из двух элементов.

Из таблицы можно заключить, что при прочих равных условиях характеристики надежности элементов при последовательном соединении влияют на $P_{изд}$ сильнее, нежели при параллельном. С увеличением интервала варьирования степень влияния увеличивается в абсолютном и относительном выражении.

Библиографический список

1. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. М. : Наука, 1976. 278 с.
2. Адлер, Ю. П. Теория планирования эксперимента: прошлое, настоящее, будущее / Ю. П. Адлер, Ю. В. Грановский, Е. В. Маркова. М. : Знание, 1982. 61 с.
3. Налимов, В. В. Теория эксперимента / В. В. Налимов. М. : Наука, 1971. 201 с.
4. Гаскаров, Д. В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры / Д. В. Гаскаров, Т. А. Голинкевич, А. В. Мозгалеvский. М. : Совет. радио, 1974. 224 с.

В. Е. Гвоздев, А. С. Субхангулова, О. Я. Бежаева

ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА ДЕФЕКТОВ В ПРОГРАММНЫХ МОДУЛЯХ НА ОСНОВЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЛОЖНОСТИ

Описана методика, которая позволяет получить оценки количества дефектов в программных модулях на основе характеристики сложности модуля. Методика ориентирована на использование в случае, когда разработкой и проведением испытаний модулей занимаются разные группы специалистов.

Актуальность проблемы и постановка задачи.

Согласно ГОСТ 19781-90, программный модуль есть программа или функционально завершённый фрагмент программы, предназначенный для хранения, трансляции, объединения с другими программными модулями и загрузки в оперативную память. Поэтому в данной статье будем рассматривать программный продукт как множество объединённых программных модулей.

При проектировании, разработке, тестировании и испытании программного продукта (ПП) важным является учёт возможного возрастания суммарных затрат при росте требований к качеству ПП. Главную роль играют испытания ПП, которые являются достаточно затратными и не повышающими качество самого продукта. Определение ресурсов, выделяемых на испытания программных продуктов, требует научно обоснованного подхода. Во-первых, необходимо определить место ПП в функциональном аппаратно-программном комплексе (АПК) и назначение самого АПК. Во-вторых, исследовать изменение во времени количества дефектов. Многие исследователи называют сложность современного ПП ключевым фактором возникновения дефектов [1]. В связи с этим разработка модели оценки количества дефектов ПП является актуальной научно-технической задачей. Решение этой задачи позволит спрогнозировать ресурсы, необходимые для устранения дефектов. Одним из подходов для оценивания количества дефектов в ПП является использование аппарата математической статистики, которое требует обеспечения однородности и сопоставимости данных. Рассматриваемый далее метод исходит из предположения о том, что программные модули разрабатывались специалистами одной и той же квалификации.

В [2–4] утверждается, что количество дефектов линейно связано с характеристикой сложности программного модуля. В [5] отмечается, что разработкой и испытаниями ПП должны заниматься различные группы разработчиков. В связи с этим могут различаться объёмы данных о характеристиках сложности программных модулей и количестве выявленных дефектов. На практике часть результатов, полученная разработчиками, может быть потеряна, кроме того, возможно возникновение ошибки в сопоставлении количества дефектов конкретному модулю. Поэтому возникает проблема сложности формирования таб-

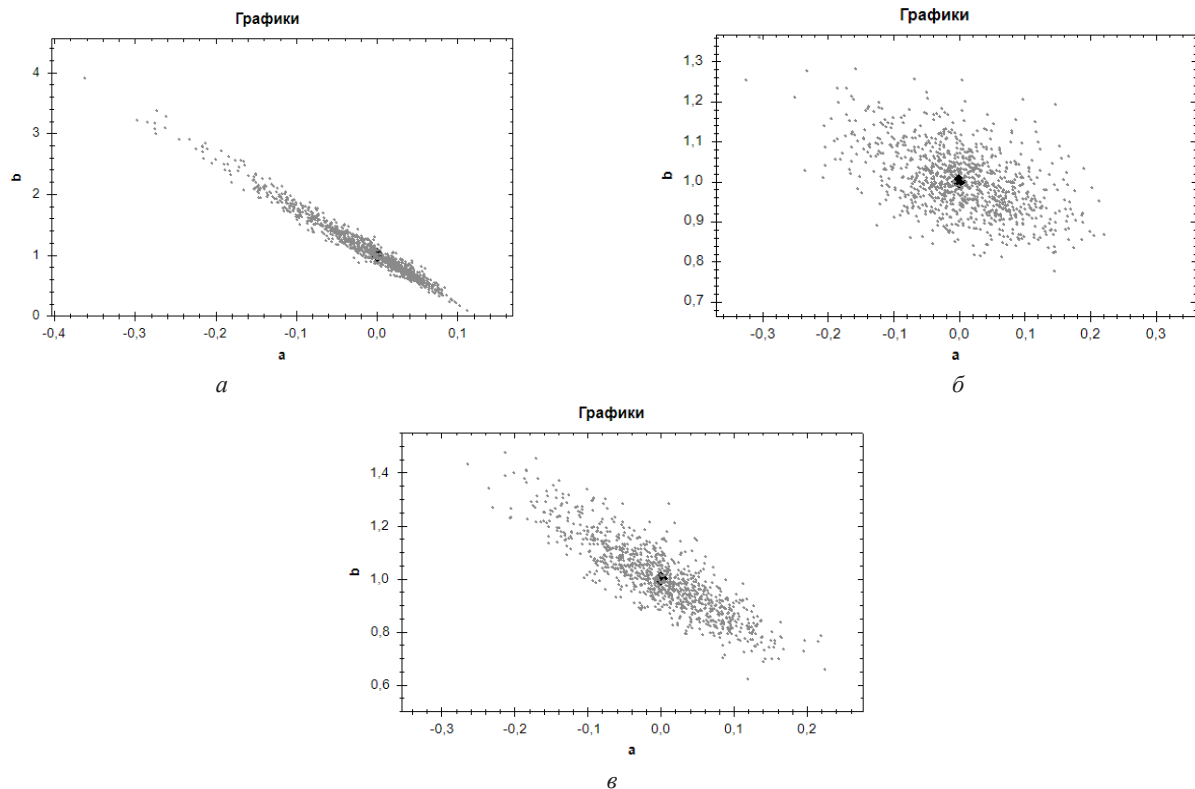
лицы совместно наблюдаемых значений. Традиционно аппарат математической статистики ориентирован на обработку больших объёмов исходных данных. При решении практических задач объёмы исходных данных, как правило, не превышают нескольких десятков, что по классификации, приведенной в [6], относится к понятию «малая выборка».

В силу отмеченных обстоятельств использование традиционного аппарата регрессионного анализа при обработке данных, связанных с оцениванием количества дефектов в программных модулях, часто вызывает серьёзные затруднения. В настоящей работе предлагается подход к оцениванию параметров линейной модели, позволяющей, во-первых, оценивать параметры модели в случае разных объёмов независимой и зависимой случайных величин, а во-вторых, оценивать параметры модели в случае малых объёмов исходных данных. В [7] показано, что результаты, получаемые на основе предлагаемого подхода в случае наличия таблицы совместно наблюдаемых значений, совпадают с расчётами, полученными методом наименьших квадратов [8]. Из чего можно заключить, что получаемые результаты являются наиболее вероятными при имеющихся объёмах исходных данных.

В настоящей работе исследуются свойства параметров модели, а также приводится описание методики, которая позволяет оценивать связь характеристик сложности с количеством дефектов. Разработка такой методики позволит решать задачу прогнозирования количества дефектов в модулях, для которых известен только показатель сложности, что в итоге станет основой для того, чтобы обоснованно выделять ресурсы на испытания этих модулей.

В литературе описано множество метрик сложности, где также обсуждается эффективность их использования. Причём результаты у разных авторов различаются. В работе в качестве метрик сложности предполагается использовать цикломатический показатель Маккейба. Выбор обоснован тем, что он описан в нормативном документе (стандарте ESAPSS-05-10), а в наше исследование не входит анализ методов расчёта характеристики сложности.

Задачи исследования: проанализировать свойства математической модели; разработать методику оценки количества дефектов в модулях.



Изменения формы поля рассеяния

Анализ свойств математической модели. В основе предлагаемого подхода лежат соотношения

$$a = M[y] - M[x] \cdot \frac{\sigma_y}{\sigma_x}, \quad b = \frac{\sigma_y}{\sigma_x},$$

где $M[y]$, σ_y — математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение характеристики количества дефектов; $M[x]$, σ_x — математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение характеристики показателя сложности; a , b — параметры линейной зависимости.

В работе [7] приведены результаты исследования оценок выходной случайной величины от свойств входной случайной величины (типа закона распределения, объемов исходных данных, погрешности в регистрации данных), однако не исследованы свойства параметров модели. Для исследования этих свойств был применен метод статистических испытаний. На рисунке представлены результаты, характеризующие свойства параметров математической модели, получаемой на основе указанных выше соотношений. На рисунке график *а* соответствует показательному закону распределения в случае, когда объем выборки составляет 50, закон распределения помехи равномерный, а масштаб помехи (определяемый посредством величины среднее квадратическое отклонение помехи), составляет 50 % от масштаба независимой случайной величины. График *б* соответствует равномерному закону распределения случайной величины при тех же условиях; график *в* — нормальному закону распределения случайной величины при аналогичных условиях. Из полученных результатов

можно заключить, что в сопоставимых условиях вид поля рассеяния параметров модели зависит от типа закона распределения случайной величины, типа и масштаба закона распределения помехи.

Методика оценки количества дефектов в программных модулях. Программный модуль реализует либо одну законченную функцию, либо несколько функций. Поэтому предлагается перейти от показателя сложности, рассчитанному согласно Маккейбу, к относительному показателю. Аналогичен переход с показателем количества дефектов. Данные преобразования позволят сопоставлять характеристики сложности различных модулей. Методика оценки количества дефектов сводится к реализации следующих шагов.

Шаг 1. На основе спецификации i -го программного модуля, в котором определено количество функций $Func_i$, реализуемых эти модули, и на основе оценки характеристики сложности e_i рассчитывается относительная величина показателя сложности по правилу

$$e_i^{(отн)} = \frac{e_i}{Func_i}.$$

Шаг 2. На основе количества выявленных дефектов def_j а также на основе описания количества функций $Func_j$ соответствующих j -му модулю, определяется характеристика относительного дефекта

$$def_j^{(отн)} = \frac{def_j}{Func_j}.$$

Шаг 3. На основе множества значений $\{e^{(отн)}\}$, $\{def^{(отн)}\}$ и соотношений строится модель вида

$$def^{(отн)} = a + b \cdot e^{(отн)}.$$

Шаг 4. Задается относительный показатель сложности, рассчитанный на этапе проектирования k -го модуля, который еще не подвергался тестированию. На основе полученных значений параметров a и b определяется относительное количество дефектов в этом модуле:

$$def_k^{(отн)} = a + b \cdot e_k^{(отн)}.$$

Шаг 5. Рассчитывается ожидаемое количество дефектов на основе соотношения

$$def_k = def_k^{(отн)} \cdot Func_k.$$

Выводы. Предлагаемая математическая модель отличается от известных тем, что она работает в случае отсутствия таблицы совместно наблюдаемых значений и в случае, когда разработкой и проведением испытаний ПП занимаются разные группы разработчиков. Результаты исследования показали, что свойства параметров линейной модели зависят от типа закона распределения независимой и зависимой величин, от объема исходных данных и от погрешности регистрации данных.

Библиографический список

1. McConnell, S. Code Complete. Masterclass / S. McConnell. Sankt-Petersburg : Piter, 2005. 896 p.
2. Luke, S. R. Failure mode, effects analysis and criticality analysis (FMECA) for software / S. R. Luke // 5th Fleet Maintenance Symposium. USA, 1995. P. 731–735
3. Pentti, Haapen. Failure mode and effect analysis of software-base automation systems [Электронный ресурс] // Haapen Pentti, Helminen Atte. URL: <http://www.stuk.fi/julkaisut/tr/stuk-yto-tr190.pdf>.
4. Маевский, Д. А. Оценка количества дефектов программного обеспечения на основе метрик сложности / Д. А. Маевский, С. А. Яремчук // Электротехн. и компьютер. системы. 2012. № 7(83). С. 113–120
5. Майерс, Г. Искусство тестирования программ / Г. Майерс. М. : Финансы и статистика, 1982. 176 с.
6. Гаскаров, Д. В. Малая выборка / Д. В. Гаскаров, В. И. Шаповалов. М. : Статистика, 1978. 248 с.
7. Субхангулова, А. С. Анализ линейных связей при независимой регистрации значений случайных параметров объекта / А. С. Субхангулова, В. Е. Гвоздев, О. Я. Бежаева // Вестн. УГАТУ. 2015. (Рукопись).
8. Дружинин, Г. В. Надежность автоматизированных систем / Г. В. Дружинин. М. : Энергия, 1977. 536 с.

УСТОЙЧИВОСТЬ КОНВЕКТИВНОГО ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ВЕРТИКАЛЬНОМ СЛОЕ С ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННЫМИ ГРАНИЦАМИ

Приводятся результаты решения задачи об устойчивости стационарного конвективного течения в вертикальном слое с теплоизолированными границами и сопоставление с противоположным предельным случаем идеально теплопроводящих границ.

1. Приведенные в [1; 2] численные результаты исследования устойчивости замкнутого стационарного конвективного течения между вертикальными параллельными плоскостями показывают, что в зависимости от числа Прандтля неустойчивость вызывается различными механизмами. Гидродинамические возмущения оказываются ответственными за неустойчивость при малых и умеренных числах Прандтля, при больших числах неустойчивость имеет волновую природу. Приводимые ниже результаты отвечают на вопрос о влиянии тепловых свойств границ на устойчивость конвективного течения. Для выяснения роли проникновения в граничные массивы тепловых возмущений на устойчивость рассмотрен случай теплоизолированных границ.

При исследовании устойчивости конвективных течений будем использовать уравнения тепловой конвекции в приближении Буссинеска (см. [1; 2])

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \nabla) \vec{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \Delta \vec{u} + g \beta T \vec{\gamma}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{u} \nabla) T = -\chi \Delta T, \quad \text{div } \vec{u} = 0,$$

где $\vec{u}$ — скорость;

T — температура;

p — давление жидкости, отсчитываемое от гидростатического давления;

ρ — плотность жидкости;

β , ν , χ — коэффициент объемного расширения жидкости, ее кинематическая вязкость и теплопроводность;

$\vec{\gamma}$ — единичный вектор, направленный вертикально вверх;

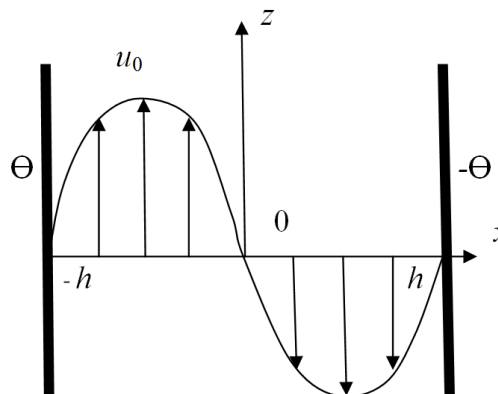
g — ускорение свободного падения.

2. Рассмотрим стационарное конвективное течение жидкости в плоском вертикальном слое между параллельными изотермическими плоскостями $x = \pm h$, нагретыми до разных температур. Найдем стационарные распределения скоростей (кубический профиль скорости) и температур (линейный профиль) устанавливающегося плоскопараллельного течения в замкнутом слое:

$$T_0 = -x; \quad u_0 = \frac{Gr}{6}(x^3 - x), \quad P = \frac{\nu}{\chi}, \quad Gr = \frac{g\beta\Theta h^3}{\nu^2}, \quad (2)$$

где введены в качестве единиц измерения расстояния, скорости и температуры соответственно: h , ν/h ,

Θ (Θ — полуразность температур между границами слоя; P , Gr — числа Прандтля и Грасгофа).



Стационарное конвективное течение жидкости
в плоском вертикальном слое

На твердых границах слоя ставятся условия прилипания и теплоизолированности (тепловой поток через границы равен нулю): $x = \pm 1$: $u_0 = 0$, $T'_0 = 0$,

Кроме того, используется условие замкнутости течения

$$\int_{-h}^h u_0 dx = 0.$$

Для исследования устойчивости стационарного плоскопараллельного конвективного течения применим метод малых возмущений. Рассмотрим возмущенное течение $\vec{u}_0 + \vec{u}$, $T_0 + T$, $p_0 + p$, где $\vec{u}$, T , p — малые нестационарные возмущения. Подставляя возмущенные поля в исходную систему (1) и линеаризуя по $\vec{u}$, T , p , получим систему уравнений для возмущений. Далее будем считать возмущения плоскими ($u_y = 0$) и введем функцию тока плоских возмущений ψ соотношениями

$$u_x = -\frac{\partial \psi}{\partial z}, \quad u_z = \frac{\partial \psi}{\partial x}.$$

Исключая из уравнений для возмущений обычным образом давление и x , y — компоненты скорости жидкости, можно получить уравнения для вертикальных компонент возмущений скоростей $u_z(x, y, z, t)$ и температур $T(x, y, z, t)$. Будем рассматривать нормальные возмущения вида

$$\psi(x, z, t) = \phi(x) e^{-\lambda t + ikz}, \quad T(x, z, t) = \theta(x) e^{-\lambda t + ikz}, \quad (3)$$

где $\varphi(x)$ и $\Theta(x)$ — амплитуды, k — вещественное волновое число; $\lambda = \lambda_r + i\lambda_i$ — комплексный декремент возмущений. В результате из (1) с учетом вида возмущений (3) получим безразмерные уравнения для амплитуд возмущений функции тока $\varphi(x)$ и температуры $\Theta(x)$:

$$\begin{aligned} (\varphi^{IV} - 2k^2\varphi'' + k^4\varphi) + (\varphi'' - k^2\varphi) \times \\ \times (\lambda - iku_0) + iku_0''\varphi - Gr\theta' = 0, \\ \frac{1}{P}(\theta'' - k^2\theta) + (\lambda - iku_0)\theta - ikT_0'\varphi = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Граничные условия:

$$x = \pm 1: \varphi = \varphi' = \Theta = 0 \quad (5)$$

(тепловой поток через границы не меняется при возникновении возмущений температуры).

Краевая задача (4), (5) определяет спектр характеристических возмущений и их декрементов λ . Границы устойчивости течения находятся из условия $\lambda_r = 0$.

Решение задачи находилось численно методом Рунге — Кутты — Мерсона с ортогонализацией векторов-решений по Грамму — Шмидту на каждом шаге интегрирования; ортонормирование проводилось к максимальному по модулю (на данном шаге) вектору-решению (см. [3–5]).

3. На основании проведенных расчетов можно утверждать, что гидродинамический механизм неустойчивости, приводящий к образованию стационарных вихрей на границе встречных потоков, мало чувствителен к тепловым свойствам массивов, то есть граница гидродинамической моды неустойчивости слабо зависит от числа Прандтля и близка к соответствующей границе в случае изотермических стенок. По сравнению со случаем идеально проводящих границ имеется уменьшение предельного числа Прандтля Pr^* , начиная с которого появляется волновая ветвь неустойчивости (экстраполяция дает значение $Pr^* \approx 1,25$ вместо 11,4 для случая идеально проводящих границ). В пределе $Pr \gg Pr^*$, как показывает асимптотическое рассмотрение (см. [2; 4; 6; 7]), в обоих случаях граничных условий имеет место один и тот же предельный закон $Gr_m \approx 590/Pr^{1/2}$. Близки

также критические значения волнового числа k_m для двух обсуждаемых вариантов граничных условий. При $P \rightarrow \infty$ расчеты дают общую с изотермическим случаем асимптотику (критические параметры не зависят от тепловых свойств стенок).

Таким образом, расчеты показывают, что тепловые свойства границ слабо влияют на устойчивость конвективного течения в вертикальном слое. В этом смысле следует подчеркнуть отличие от задачи об устойчивости равновесия подогреваемого снизу горизонтального слоя жидкости, где (см. [1]) имеет место весьма сильная зависимость границы устойчивости и формы возмущений от тепловых свойств граничных массивов.

Библиографический список

1. Гершуни, Г. З. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости / Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкий. М. : Наука, 1972. 392 с.
2. Гершуни, Г. З. Устойчивость конвективных течений / Г. З. Гершуни, Е. М. Жуховицкий, А. А. Непомнящий. М. : Наука, 1989. 320 с.
3. Беллман, Р. Квазилинеаризация и нелинейные краевые задачи / Р. Беллман, Р. Калаба. М. : Мир, 1968. 156 с.
4. Гершуни, Г. З. О влиянии тепловых свойств границ на устойчивость конвективного течения в вертикальном слое / Г. З. Гершуни, О. Н. Дементьев, Е. М. Жуховицкий // Инженер.-физич. журн. 1977. № 6, Т. XXII. С. 1062–1064.
5. Бетчов, Р. Вопросы гидродинамической устойчивости / Р. Бетчов, В. Криминале. М. : Мир, 1971. 351 с.
6. Липчин, А. Т. Влияние тепловых свойств границ на устойчивость конвективного течения в подогреваемом сбоку вертикальном слое. Конвективные течения / А. Т. Липчин, Н. И. Лобов. Пермь : Перм. гос. пед. ун-т, 1987. С. 11–18.
7. Özisik, M. N. Effects of convective boundary conditions on the stability of conductive regime in a inclined slender slot / M. N. Özisik, M. A. Hassab. Numer. Heat Transfer, 1979. Vol. 2. P. 251–260.

Т. А. Макаровских

ПОКРЫТИЕ ГРАФА ДЛЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО РАСКРОЙНОГО ПЛАНА АОЕ-ЦЕПЯМИ

Рассматривается алгоритм построения АОЕ-покрытия в плоском графе, имеющем только вершины степеней 3 и 4. Такой граф соответствует прямоугольному раскройному плану. АОЕ-цепь — маршрут, в котором исключается возможность пересечения имеющихся резов, а отрезанная от листа часть не требует дополнительных разрезов.

Широкое применение в машиностроительных и других металлоемких производствах имеют станки с числовым программным управлением (ЧПУ) тепловой резки металла. Эффективность использования такого оборудования во многом определяется организацией сложного и трудоемкого процесса составления соответствующих управляющих программ, которые являются результатом сквозного цикла обработки информации — от чертежа детали до программ ее изготовления в NC-кодах конкретного оборудования. Известные программные комплексы автоматизированного проектирования управляющих программ в значительной мере используют элементы интерактивной графики, в то время как более перспективным представляется полная автоматизация проектных решений на основе математических моделей и оптимизационных методов [1].

При технологической подготовке процесса раскройки материала возникают определенные технологические ограничения, связанные со спецификой исполнительного инструмента. В качестве таких ограничений могут выступать, в частности, следующие параметры:

- маршрут начинается и заканчивается в начале координатной системы раскройного оборудования;
- врезка производится не на контуре детали, а на некотором расстоянии от него;
- исключается возможность пересечения имеющихся резов;
- нежелательность наличия большого количества острых углов в траектории движения;
- вырезание некоторых деталей по специальному маршруту из-за термической деформации металла;
- ограничение на жесткость деталей и листа;
- ограничение технологических возможностей движения оборудования;
- отрезанная от листа часть не требует дополнительных разрезов [1; 2].

Рассмотрим задачу построения маршрута движения режущего инструмента для прямоугольного раскройного плана, при котором отрезанная от листа часть не требует дополнительных разрезов и исключается возможность пересечения имеющихся резов. Моделью раскройного плана выступает плоский граф, внутренними гранями которого являются прямоугольники, а вершины (точки сочленения деталей) имеют степени 3 и 4. Из-за наличия $2N$ вершин нечетной степени такой граф не является эйлеровым, поэтому невоз-

можно построить маршрут, не содержащий холостых переходов и, соответственно, дополнительных точек врезки. Очевидно, что количество таких дополнительных построений равно N . После выполнения этих построений получим 4-регулярный граф (граф, степени всех вершин которого равны 4), в котором возможно построение маршрута, удовлетворяющего введенным технологическим ограничениям (называемое АОЕ-цепью). Алгоритм решения данной задачи и основные математические определения приведены в [2].

Приведем эти определения и рассмотрим процесс сведения графа, соответствующего прямоугольному раскройному плану, к 4-регулярному графу.

Положим, что на плоскости S задан плоский граф $G = (V, E)$, и пусть f_0 — внешняя (бесконечная) грань графа G . Для любого подмножества $H \subset G$ обозначим через $\text{Int}(H)$ подмножество S , являющееся объединением всех связанных компонент множества $S \setminus H$, не содержащих внешней грани f_0 . Множества вершин, ребер и граней графа G будем обозначать через $V(G)$, $E(G)$ и $F(G)$ соответственно, а $|S|$ — число элементов множества S .

Будем говорить, что цикл $C = v_1 e_1 v_2 e_2 \dots v_k$ в эйлеровом графе G имеет упорядоченное охватывание (является ОЕ-цепью), если для любой его начальной части $C_i = v_1 e_1 v_2 e_2 \dots e_i$, $1 \leq (|E(G)|)$ выполнено условие $\text{Int}(C_i) \cap E(G) = \emptyset$ [2]. Рассмотрим эйлерову цепь $T = v_0 k_1 v_1 \dots k_n v_n v_n = v_0$ в графе $G = (V, E)$. Предположим, что в каждой вершине $v \in V$ задан циклический порядок $O^+(v)$, определяющий систему переходов $A_G(v) \subset O^+(v)$ в этой вершине. В случае, когда $\forall v \in V(G)$, $A_G(v) = O^+(v)$ систему переходов $A_G(v)$ будем называть полной системой переходов. Будем называть T А-цепью тогда и только тогда, когда она является A_G -совместимой цепью. Таким образом, последовательные ребра в цепи T (инцидентные вершине v) являются соседями в циклическом порядке $O^+(v)$. Будем говорить, что цепь является АОЕ-цепью, если она одновременно является ОЕ-цепью и А-цепью.

В монографии Г. Фляйшера [3] определены некоторые классы графов, для которых распознавание наличия А-цепи требует полиномиального времени. В работах данного автора приводятся также полиномиальный алгоритм для внешнеплоских графов [4] и для 4-регулярных графов [3] (то есть графов, степень каждой вершины которых равна 4). В [3, Следствие VI.6] приводится доказательство существова-

ния A -цепи для любого связного 4-регулярного графа на любой поверхности. Для доказательства данного факта автор использует Лемму о расщеплении [3. Лемма III.26]. Также доказано, что существует полиномиальный алгоритм для распознавания A -цепи в 4-регулярном графе.

Таким образом, наличие в графе A -цепи вовсе не означает выполнение для нее условия упорядоченного охвата. Тем не менее справедлива следующая теорема.

Теорема. Пусть дан плоский эйлеров граф $G(V, E)$ с полной системой переходов $A_G(v)$. Любая A -цепь T , начинающаяся в вершине $v \in f_0$ и заканчивающаяся ребром $e \in f_0$, является OE -цепью.

Очевидно, что так как $\forall v \in V(G) \deg(v) = 4$, то 4-регулярный граф является эйлеровым. Таким образом, справедливо следующее следствие.

Следствие. В плоском 4-регулярном графе существует AOE -цепь.

В [2] приведен алгоритм построения AOE -цепи в плоском 4-регулярном графе. Однако граф, соответствующий прямоугольному раскройному плану, таковым не является. Для сведения его к 4-регулярному графу необходимо выполнить дополнительные построения: определить ребра, попарно связывающие вершины степени 3. Данное построение не вносит корректив в работу алгоритма построения OE -цепи и позволяет определить минимальное по длине дополнительных построений OE -покрытие [5] (при построении OE -покрытия не учитывается факт отсутствия пересечения резов). Однако в случае построения AOE -цепи при добавлении дополнительных (холостых) ребер необходимо указать их место в циклическом порядке. Когда при построении OE -покрытия допускалось нарушение планарности графа при добавлении холостых ребер, при построении A -цепи данные модификации приводят к получению решения, не удовлетворяющего исходным ограничениям.

Приведем алгоритм поиска допустимого решения задачи, основанный на алгоритме для OE -цепи, приведенном в [6].

Алгоритм AOE -ПОКРЫТИЕ

Входные данные. Граф $G(V, E)$, соответствующий прямоугольному раскройному плану (имеет только вершины степени 3 и 4), представленный шестью функциями для каждого ребра: $v_1(e), v_2(e)$ — вершины, инцидентные ребру e ; $l_1(e), l_2(e)$ — ребра, инцидентные вершинам $v_k(e)$ и получающиеся при вращении ребра e против часовой стрелки; $r_1(e), r_2(e)$ — ребра, инцидентные вершинам $v_k(e)$ и получающиеся при вращении ребра e по часовой стрелке.

Выходные данные. Покрытие графа AOE -цепями.

Шаг 1. Определить ранги ребер графа (шаги 1–3 алгоритма A -ЦЕПЬ [2]).

Шаг 2. Положить $k = 1$ (где k — номер цепи в покрытии). Начать построение цикла из произвольной вершины $v_0 \in f_0$. Выбрать первое ребро e_1 , инцидентное v_0 и имеющее максимальный ранг (ранг равен 1, если вершина является точкой сочленения и 2

в остальных случаях). Пусть $v_0 = v_1(e_1)$, в противном случае поменять индексы кодирующих функций данного ребра местами. Пусть $e = e_1$ — текущее ребро, помещаемое в цепь $C_k = \{e_1\}$.

Шаг 3. Пусть движение по ребру e осуществляется из вершины $v_1(e)$ в вершину $v_2(e)$. В противном случае изменить направление прохода по ребру заменой индексов задающих его функций на противоположные, то есть k заменить на $(3 - k)$, где $k = 1, 2$. Пусть $C_k = C_k \cup \{e\}$. Пометить e как пройденное. Текущей является вершина $v = v_2(e)$.

Шаг 4. Если

$$\left| \bigcup_{i=1}^k C_i \right| = |E|,$$

завершить выполнение алгоритма. Покрытие AOE -цепями построено, завершить выполнение алгоритма. В противном случае, перейти на шаг 5.

Шаг 5. Если $\text{rank}(r_2(e)) = \text{rank}(l_2(e)) < \text{rank}(e)$, построить дополнительное ребро e' : $v_k(e') = v_{3-k}(e)$, $l_k(e') = l_{3-k}(e)$, $r_k(e') = r_{3-k}(e)$. Положить $k = k + 1$. Вернуться в вершину $v = v_1(e)$ по дополнительному ребру.

Шаг 6. Чтобы не нарушить свойство A -цепи, выбрать одно из соседних для e ребер, имеющее максимальный возможный ранг и не пройденное ранее (не включенное в ни в одну из цепей C_i , $i = 1, k$). Таким образом: $e = r_2(e)$, если $\text{rank}(r_2(e)) > \text{rank}(l_2(e))$; $e = l_2(e)$, если $\text{rank}(r_2(e)) < \text{rank}(l_2(e))$; если $\text{rank}(r_2(e)) = \text{rank}(l_2(e))$, продолжить обход по любому из ребер.

Перейти на шаг 3.

Конец алгоритма.

Библиографический список

1. Фроловский, В. Д. Автоматизация проектирования управляющих программ тепловой резки металла на оборудовании с ЧПУ / В. Д. Фроловский // Информ. технологии в проектировании и производстве. 2005. № 4. С. 63–66.
2. Панюкова, Т. А. О построении маршрута движения режущего инструмента при условии вырезания только соседних деталей / Т. А. Панюкова // Информационные технологии и системы : тр. Третьей Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 26 февр. — 2 марта 2014 г. (ИТиС – 2014) : науч. электрон. изд. / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 41–42.
3. Фляйшнер, Г. Эйлеровы графы и смежные вопросы / Г. Фляйшнер. М. : Мир, 2002. 335 с.
4. Andersen, L. D. Algorithms and outerplanar conditions for A-trails in plane Eulerian graphs / L. D. Andersen, H. Fleischner, S. Regner // Discrete Applied Mathematics. 1998. Vol. 85. P. 99–112.
5. Панюкова, Т. А. Оптимальные эйлеровы покрытия для плоских графов / Т. А. Панюкова // Дискрет. анализ и исслед. операций. 2011. Т. 18, № 2. С. 64–74.
6. Panyukova, T. Constructing of OE-Postman Path for a Planar Graph / T. Panyukova // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер. Математическое моделирование и программирование. 2014. Т. 7, № 4. С. 90–101.

МНОГОМЕРНЫЕ МНОГООБРАЗИЯ И ОБЪЕДИНЕНИЯ ВОКСЕЛЕЙ

*Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ № 14-01-00441
и гранта поддержки ведущих научных школ НШ-1015.2014.1*

Приведен простой критерий того, что объединение конечного числа n -мерных вокселей данной n -мерной кубической решетки является топологическим многообразием с краем. Критерий формулируется в терминах специальной дискретной метрики на множестве вокселей, инцидентных каждой вершине. В случаях $n = 2$ и $n = 3$ этот критерий может быть полезен для практики, например, в теории распознавания образов. В старших размерностях он пока носит чисто теоретический характер.

Напомним, что топологическое пространство называется n -мерным многообразием, если каждая его точка имеет окрестность, гомеоморфную n -мерному шару или полушару, причем рассматриваемая точка должна отвечать центру шара, соответственно, полушара. При этом мы не требуем, чтобы шар был круглым — допускаются шары с углами.

Пусть в евклидовом пространстве R^n имеется решетка, составленная из n -мерных кубов фиксированного размера, которые мы будем называть n -вокселями. Пусть часть вокселей покрашена. Тогда объединение покрашенных вокселей представляет собой n -мерный геометрический объект. В работе исследуется следующий вопрос: при каких условиях этот объект является n -мерным многообразием?

Приведем примеры. Пусть $n = 2$, когда мы рассматриваем составленные из 2-вокселей (которые называются пикселями) двумерные объекты (рис. 1). На нем показаны объект, который является 2-многообразием (слева), и объект, который таковым не является, поскольку выделенная точка, указанная стрелкой, не имеет ни шаровой, ни полушаровой окрестности.

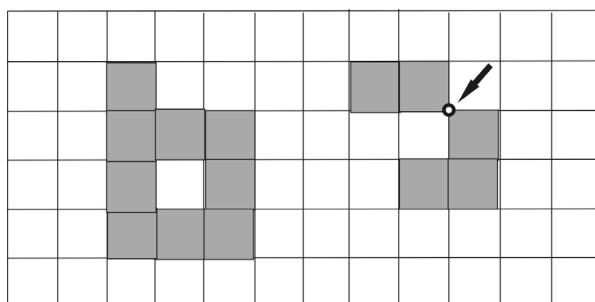


Рис. 1. Двумерные объекты, составленные из составленные из 2-вокселей

Примеры объектов, составленных из 3-вокселей, приведены на рис. 2. Левый объект является 3-многообразием, два других — нет, поскольку правый имеет одну плохую точку, а средний целый отрезок плохих точек.

Как узнать, является ли данное объединение n -мерных вокселей многообразием? Для этого нам понадобится понятие метрики (то есть расстояния) на данном объединении покрашенных вокселей. Назовем прыжком переход от одного покрашенного вокселя

к другому, имеющему с ним общую грань размерности $n - 1$. Будем говорить, что два покрашенных вокселя находятся на расстоянии k , если от одного к другому можно перейти за k прыжков, а за меньшее число прыжков перейти нельзя. Такое расстояние удовлетворяет стандартным аксиомам метрического пространства (вернее их дискретным версиям), в частности, неравенству треугольника.

Пусть A — геометрический объект, составленный из покрашенных вокселей n -мерной решетки. Будем называть вершину решетки правильной, если расстояние между любыми двумя инцидентными ей покрашенными вокселями не превосходит n . На рис. 2 слева хорошо видно, что расстояние между кубами 1 и 2 в точности равно 3, а расстояние между любыми двумя кубами, инцидентными отмеченной вершине, не превосходит 3. Поэтому она является правильной. Расстояние между кубами 3 и 4 на среднем равно 4 (кратчайший путь показан), поэтому отмеченная вершина неправильная. От куба 5 до куба 6 добраться вообще нельзя.

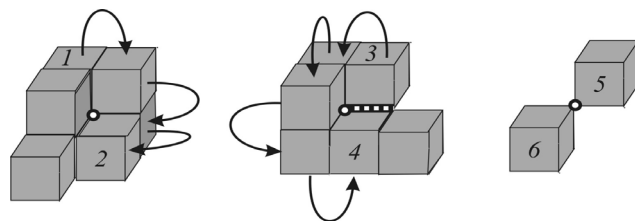


Рис. 2. Двумерные объекты, составленные из составленные из 3-вокселей

Теорема. Объект A является n -мерным многообразием тогда и только тогда, когда все его вершины правильны.

Прямое доказательство этой теоремы довольно громоздко, но использование математической индукции по размерности решетки позволяет удержать его в разумных пределах.

Другой способ задания многообразий, но только трехмерных, описан в работе [1].

Библиографический список

1. Matveev, S. V. Computer Presentation of 3-Manifolds / S. V. Matveev // Digital and Image Geometry (Lecture Notes in Computer Science). 2001. Vol. 2243. P. 59–74.

А. Р. Нургатин

УМЕНЬШЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМА FREAK

На данный момент существует множество методов обнаружения объектов на изображении, к примеру, метод FREAK. Однако практически все эти методы основаны на вычислении свертки с определенным паттерном. Такой подход ведет к существенному возрастанию объема вычислений при увеличении размеров исходной сцены, что делает его малоприменимым в системах реального времени и ограниченных вычислительных мощностях. Предлагается метод улучшения алгоритма FREAK, позволяющий снизить вычислительные нагрузки без ущерба точности. Для данного метода также показаны результаты тестирования, демонстрирующие его применимость

Введение. Системы идентификации личности по фотографии в современном мире являются крайне востребованными. Такие программные и программно-аппаратные комплексы находят применение в различных областях: информационная безопасность, классификаторы, биометрия и т. д. Однако практически все эти методы основаны на вычислении свертки с определенным паттерном. Такой подход ведет к существенному возрастанию объема вычислений при увеличении размеров исходной сцены, что делает его малоприменимым в системах реального времени и ограниченных вычислительных мощностях. Однако существуют методы улучшения некоторых из этих алгоритмов, в частности, FREAK, что позволяет увеличить скорость работы без снижения качества работы алгоритма.

Описание алгоритма FREAK. Аналогично сетчатке глаза человека, алгоритм fast retina key points анализирует некоторые зоны, при этом площадь рассматриваемой прямо пропорциональна расстоянию от рассматриваемой особой точки. Не сложно заметить что при этом существенно падает плотность точек [1]. Так как в реальных задачах изображения испытывают различные искажения, то для подавления шумов каждая окрестность точки, соответствующая нервной клетке сетчатки глаза, сглаживается. В отличие от BRIEF и ORB использующих одно ядро сглаживания для разных окрестностей [4–5], предлагается использовать разные ядра сглаживания как в алгоритме BRISK, по аналогии с работой сетчатки глаза. Однако в отличие от алгоритма BRISK радиус окрестностей растет экспоненциально и имеет место перекрытие [6].

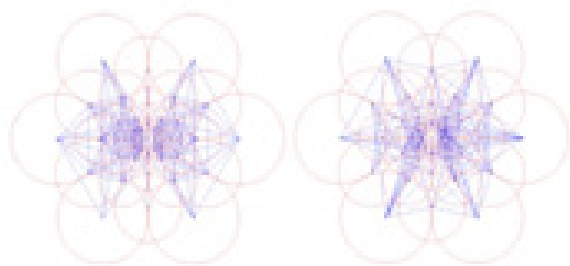


Рис. 1. Окрестности и их пересечения для построения дескриптора

Попадание каждого пикселя в различные окрестности увеличивает качество алгоритма. Кругами на рис. 1 представлены зоны, в каждой из которых считается свертка с гауссовым ядром. Пороговая разница между пар результатов свертки рецептивных полей с гауссовыми ядрами формирует бинарный дескриптор $F(1)$. Другими словами, F представляет собой двоичные строки, формируемые с помощью последовательности однобитовых разниц по Гауссу:

$$F = \sum_{0 \leq a \leq N} 2^a T(P_a),$$

где P_a — пары зон внутри текущего окна;

N — определенный размер дескриптора

$T(P_a) = \text{sign}(I(P_a^{r_1}) - I(P_a^{r_2}))$, $I(P_a^{r_i})$ — гауссово размытие яркости поля P .

Не трудно заметить, что на эффективность работы алгоритма влияет выбор набора пар для построения бинарного вектора, описывающего локальную особенность. Данный набор предложен авторами статьи и выбран статистическим методом [1]. Таким образом, задача определения соответствия сводится к векторному анализу, в частности, к вопросу поиска кратчайших расстояний.

FREAK-AdaptScan. Вместо предполагаемого фиксированного шага движения Δ возможно разделение шага по осям x и y : $\Delta X \Delta Y$. Очевидно, что $\Delta X = \Delta Y$, поэтому в дальнейшем для простоты будем использовать обозначение Δ . Так как при шаге сканирования отличном от единицы возможны ситуации пропуска максимума целевой функции, то данное изменение может повлиять на точность обнаружения. При этом данное влияние не всегда отрицательно. При увеличении шага в однородных областях снижается вероятность ложного срабатывания. Также в областях, где искомый объект отсутствует, возможно за счет увеличения шага сканирования повысить скорость работы алгоритма. На данный момент самым популярным является фиксированный размер шага $\Delta = 1$ или $\Delta = 2$ [7]. Для примера в качестве объекта возьмем человеческое лицо как достаточно часто встречающуюся задачу для систем реального времени [8].

Степень выхода — итерация, на которой текущее окно сканирования будет отвергнуто. В частных случаях



Рис. 2. Справа — исходное изображение, слева — изображение с наложением ступени выхода

в качестве ступени выхода может номер классификатора в каскаде. На рис. 2 ступень выхода проиллюстрирована следующим образом: с увеличением данного параметра увеличивается значение яркости в синем канале изображения. Не трудно заметить корреляцию наличия искомого паттерна в исходном изображении и ступени выхода.

Данный подход позволяет увеличивать размер шага при малых значениях ступени выхода и увеличивать его при приближении к объекту поиска. Также данный подход позволяет избежать дополнительных расходов на нормализацию подокна. Данная нормализация необходима для минимизации влияния различных условий освещения в методе FREAK.

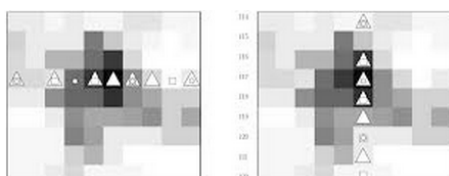


Рис. 3. Различные Δ

На рис. 3 рассмотрены постоянный шаг $\Delta X = 2$ или $\Delta X = 3$. Видно что детектор не в состоянии разместить окно в локальном максимуме, в отличие от адаптивного шага Δ .

На каждом шаге свертки запускается классификатор, возвращающий ступень отсека. Искомый объект считается найденным, если ступень отсека совпадает с числом классификаторов. Результатом является положение и размер текущего окна.

Результаты. Эксперименты проводились на четырехъядерном Intel Core i7 с тактовой частотой 2,2 ГГц. Использовалась база лиц CMU+MIT.

Реализованы статический (ΔX и ΔY постоянны и равны 1, 2 или 3) и динамический (ΔX и ΔY уменьшаются при приближении к локальному максимуму) подходы.

Для сравнения получаемых результатов используются следующие метрики [3]:

$$recall = \frac{TP}{TP + FN}, precision = \frac{TP}{TP + FP},$$

где TP — число правильно определенных объектов, FN — число пропущенных объектов, FP — количество ложных срабатываний. Для удобства введем метрику $F1$ — средневзвешенное отклика и точности.

Полученные результаты сравниваются в Паретовском смысле (9).

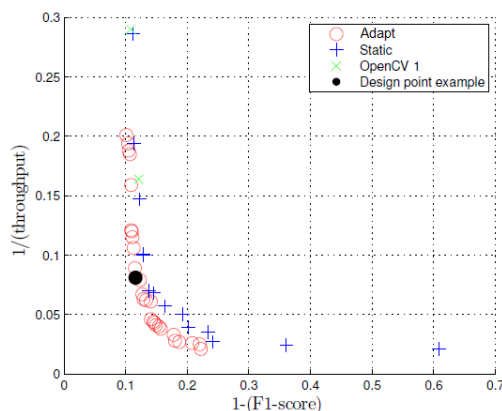


Рис. 4. Результаты сравнения для метрики $F1$

Заключение. Предлагается использовать адаптивное сканирующее окно для улучшения процесса обнаружения объекта алгоритмом FREAK. Представлены результаты для реализации детектора лиц FREAK, но данная оптимизация может быть применена для любого алгоритма обнаружения объектов, в котором используются сканирующее окно и каскадный классификатор. По сравнению с существующими, адаптивный подход обеспечивает лучшие показатели в пространстве recall/precision, что особенно важно для систем реального времени. При захвате изображения с видео, может быть принята во внимание также и временная неоднородность для еще большего снижения объема вычислений.

Библиографический список

1. Zhang, C. A survey of recent advances in face detection [Электронный ресурс] / C. Zhang, Z. Zhang. URL: <http://research.microsoft.com/pubs/132077/facedetsurvey.pdf>
2. Calonder, M. BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features Lausanne / M. Calonder et al.

// Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on. 2011. Vol. 34, Issue 7. P. 1281–1298.

3. Leutenegger, S. BRISK: Binary Robust Invariant Scalable Keypoints [Электронный ресурс] / S. Leutenegger, M. Chli, R. Y. Siegwart. URL: <http://www.asl.ethz.ch/people/leutenegger/personal/iccv2011.pdf>.

4. Alahi, A. FREAK: Fast Retina Keypoint [Электронный ресурс] / A. Alahi, R. Ortiz, P. Vandergheyns. URL: <http://infoscience.epfl.ch/record/175537/files/2069.pdf>.

5. Rublee, E. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF [Электронный ресурс] / E. Rublee, et al. URL: http://www.dabi.temple.edu/~hbling/Teaching/12S_8543/Presentation/Rublee11ORB.pdf.

6. Cho, J. Parallelized architecture of multiple classifiers for face detection / J. Cho B. Benson, S. Mirzaei, R. Kastner // Application-specific Systems, Architectures and Processors. Boston, 2009. P. 75–82.

7. Phan, T. Performance-Analysis-Based Acceleration of Image Quality Assessment / T. Phan, S. Sohon, D. M. Chandler // Image Analysis and Interpretation (SSIAI). Santa Fe, 2012. P. 81–84.

8. Кини, Р. Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р. Л. Кини, Х. Райфа. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.

9. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. Техносфера, 2012. 1104 с.

ПОЛИНОМИАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ЗАДАЧИ КОММИВОЯЖЕРА

Предложен алгоритм решения задачи коммивояжера на графе (V, E) с весовой функцией $w: E \rightarrow \mathbb{N}$, состоящий в нахождении ее оптимального значения и последующем постоптимизационном анализе найденного значения. Вычислительная сложность такого алгоритма не превосходит величины $O(|V|^6 \cdot \log_2(|V| \cdot W))$, где $W = \max_{e \in E} w(e)$.

Пусть G — полный граф с множеством вершин $V(G)$, на множестве ребер которого задана весовая функция $w: V(G) \times V(G) \rightarrow \mathbb{N}$. Задача коммивояжера заключается в нахождении в графе G цикла C минимального веса, проходящего через каждую вершину графа G один и только один раз (то есть гамильтонова цикла). Легко показать (по аналогии с работой [1]), что данная задача может быть представлена как задача поиска

$$x^* = \arg \min_{x \in D_1 \cap D_2 \cap \{0,1\}^{n^2}} \left[\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{u,v \in V(G)} w(\{u,v\}) x_u^i x_v^{(i+1) \% n} \right],$$

где $n = |V(G)|$, $a \% b$ — остаток от деления целых чисел a и b ;

$$D_1 = \left\{ x : (\forall i = 0, 1, \dots, n-1) \sum_{v \in V} x_v^i = 1, x \geq 0 \right\};$$

$$D_2 = \left\{ x : (\forall v \in V) \sum_{i=0}^{n-1} x_v^i = 1 \right\}.$$

При этом ребро $\{u, v\} \in E(G)$ принадлежит циклу C в том и только том случае, когда $\exists i: 0 \leq i \leq n-1$, $x_u^{*i} \cdot x_v^{*(i+1) \% n} = 1$.

Для нахождения оптимального значения задачи коммивояжера будем использовать лагранжевы релаксации по группе ограничений, определяющих множество D_2 . В этом случае двойственная функция будет иметь вид

$(\lambda) =$

$$= \min_{x \in D_1 \cap \{0,1\}^{n^2}} \left[- \sum_{v \in V} \lambda_v x_v^i + \sum_{u,v \in V(G)} w(\{u,v\}) x_u^i x_v^{(i+1) \% n} \right] + \sum_{v \in V} \lambda_v.$$

Общеизвестно, что двойственная функция является выпуклой вверх и ограниченной сверху оптимальным значением прямой задачи.

Утверждение 1.

$\arg \max_{\lambda \in \mathbb{R}} (\lambda) \in S =$

$$= \left\{ \lambda = \{\lambda_v\}_{v \in V} : \sum_{v \in V} \lambda_v \leq M = \frac{2 \sum_{u,v \in V} w(\{u,v\})}{n}, \lambda \geq 0 \right\}.$$

Утверждение 2.

$\{\lambda: \|\lambda - \hat{\lambda}\|_2 \leq r\} \subset S \subset \{\lambda: \|\lambda - \lambda^0\|_2 \leq R\}$, где

$$\lambda = \left\{ \lambda_v = \frac{M}{n + \sqrt{n}} \right\}_{v \in V}, \quad \lambda^0 = \left\{ \lambda_v^0 = \frac{M}{n} \right\}_{v \in V},$$

$$r = \frac{M}{n + \sqrt{n}}, \quad R = \frac{M}{\sqrt{n}}.$$

Утверждение 3. Пусть $L = (n+1)\sqrt{n}$, тогда $(\forall \lambda^1, \lambda^2 \geq 0)(|\Lambda(\lambda^1) - \Lambda(\lambda^2)| \leq L \|\lambda^1 - \lambda^2\|_2)$.

Доказательство приведенных выше утверждений аналогично доказательству соответствующих утверждений в [1; 2]. Из утверждений 1–3 и выпуклости $\Lambda(\lambda)$ следует, что применение метода эллипсоидов [3] для вычисления максимального значения $\Lambda(\lambda)$ с точностью ε потребует

$$N = 2(n+1)^2 \ln \frac{LR^2}{r\varepsilon}$$

вычислений значения $\Lambda(\lambda)$ для соответствующих значений λ . Заметим, что применение метода эллипсоидов требует использования длинной арифметики. В работе [3] доказано, что при целочисленных значениях исходных данных в промежуточных вычислениях метода эллипсоидов достаточно использования чисел в формате с фиксированной точкой с длиной дробной части $p = 5N$ бит.

Сложность вычисления $\Lambda(\lambda)$ определяется сложностью решения задачи $\mathcal{P}$:

$$\min_{x \in D_1 \cap \{0,1\}^{n^2}} \left[- \sum_{v \in V} \lambda_v x_v^i + \sum_{u,v \in V(G)} w(\{u,v\}) x_u^i x_v^{(i+1) \% n} \right],$$

которая является частным случаем полиномиально разрешимой задачи Вебера для древовидной сети [5]. Приведем адаптацию алгоритма из [5] для рассматриваемого случая.

Введем в рассмотрение оргграф переходов состояний $\mathcal{G}$ с множеством вершин

$$V(\mathcal{G}) =$$

$$= \{(v_0, 0), (v_0, n)\} \cup \left[\bigcup_{v,u \in V(G) \setminus \{v_0\}} ((V(G) \setminus \{v_0\}) \times \{1, 2, \dots, n-1\}) \right]$$

и множеством дуг

$$\begin{aligned} A(\mathcal{G}) = & \left[\bigcup_{v,u \in V(G) \setminus \{v_0\}} \{(v_0, 0), (v, 1)\} \right] \times \\ & \times \bigcup_{i=1}^{n-2} \left[\bigcup_{u,v \in V(\mathcal{G}) \setminus \{v_0\}} \{(u, i), (v, i+1)\} \right] \times \\ & \times \bigcup_{v \in V(G) \setminus \{v_0\}} \{(v_0, n), (v, n-1)\}. \end{aligned}$$

В терминах оргграфа $\mathcal{G}$ задача $\mathcal{P}$ представляет задачу нахождения пути минимального веса между вершинами $(v_0, 0)$ и (v_0, n) , при условии, что веса вершин $(v, i) \in V(\mathcal{G})$ равны λ_v , и $(\forall i = 0, 1, \dots, n-1)$ веса дуг

$((u, i), (v, i + 1))$ равны $w(u, v)$. Данная задача может быть решена любым из общеизвестных алгоритмов построения кратчайшего пути. Поскольку $|V(\mathcal{G})| = n^2$, а число дуг исходящих из любой вершины не превосходит n , то алгебраическая вычислительная сложность алгоритма решения задачи $\mathcal{P}$ не превосходит величины $O(n^3)$. Из описания алгоритма вычисления $\Lambda(\lambda)$ следует доказательство следующего утверждения.

Утверждение 4.

$$\max_{\lambda \in S} \Lambda(\lambda) = \min_{x \in D_1 \cap D_2 \cap \{0,1\}^{n^2}} \left[\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{u,v \in V(G)} w(\{u, v\}) x_u^i x_v^{(i+1) \bmod n} \right].$$

Из целочисленности оптимального решения следует, что достаточная точность нахождения оптимального значения $\Lambda(\lambda)$ равна $\varepsilon = 1/3$. Поскольку значение $\Lambda(\lambda)$ содержит сумму n приближенных значений λ_v , $v \in V$, то для достижения точности $\varepsilon = 1/3$ достаточно в представлении каждого λ_v , $v \in V$ иметь дополнительно $3 \log^2 n$ бит. Следовательно, битовая сложность вычисления $\Lambda(\lambda)$ не превосходит величины $O(n^3 \log^2 n)$.

Подставляя определенные выше значения L , R , r и ε в выражения для N , получим

$$N = 2(n+1)^2 \ln \frac{(n+1)\sqrt{n}(n+\sqrt{n})M \cdot 3}{n^2} \leq$$

$$\leq 2(n+1)^2 (1,8 + \log_2 n + 0,7 \cdot \log_2 W) = O(n^2 \log_2(nW)),$$

где $W = \max_{u,v \in V} w(\{u, v\})$

В теле основного цикла алгоритма по методу эллипсоидов наряду с вычислением $\Lambda(\lambda)$ выполняется $O(n^2)$ операций с числами разрядности $p = 5N$ бит. Следовательно битовая сложность вычисления $\Lambda(\lambda)$ равна $O(n^6 \log_2^2(nW))$.

Пусть Λ^w равно оптимальному значению задачи коммивояжера с весовой функцией w . Для $u, v \in V$ обозначим через $w \uparrow \{u, v\}$ весовую функцию, отличающуюся от весовой функции w одним значением $w \uparrow \{u, v\}(\{u, v\}) > w(\{u, v\})$ и только им. Очевидна справедливость следующего утверждения.

Утверждение 5. Если $\Lambda^w < \Lambda^{w \uparrow \{u, v\}}$, то $\{u, v\} \in E(C)$.

Таким образом, с помощью постоптимизационного анализа задачи определения оптимального значения задач коммивояжера может быть решена задача определения оптимального маршрута коммивояжера. Наиболее эффективным способом проведения такого анализа является анализ задачи $\mathcal{P}(\Lambda^w)$, его битовая вычислительная сложность не более $O(n^4 \log_2 n)$.

Основным результатом статьи является следующая теорема.

Теорема. Алгоритм решения задачи коммивояжера, состоящий в нахождении ее оптимального значения и последующем пост оптимизационном анализе найденного значения, имеет вычислительную сложность, не превосходящую $O(n^6 \log_2^2(nW))$.

Библиографический список

1. Panyukov, A. V. Polynomial solvability of NP-complete problems / A. V. Panyukov // ScienceOpen Research. Section: SOR-COMPSCI. 2014. DOI:10.14293/S2199-1006.1.SOR-COMPSCI.AB0DLX.v1.
2. Панюков, А. В. Полиномиальный алгоритм распознавания существования в графе гамильтонова цикла / А. В. Панюков. Челябинск : Издат. центр ЮУрГУ, 2014. 18 с. (Препринт).
3. Grotschel, M. The ellipsoid method and its consequences in combinatorial optimization / M. Grotschel, A. Schrijver, L. Lovasz // Combinatorica. 1981. Vol. 2. P. 169–197.
4. Panyukov, A. Polynomial Algorithms to finite Weber problem for a tree network / A. Panyukov, B. Pelzwerger // J. of computational and Applied Mathematics. 1991. Vol. 35. P. 291–296.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЙ МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Предлагается новый метод решения задач глобальной оптимизации на компактных множествах, описываемых непрерывными функциями гельдеровского класса, которые заданы алгоритмически. Метод основан на пакетных итерациях Монте-Карло для построения последовательностей «квази-глобальных» минимумов и их декрементов. Последняя используется для оценивания констант Гельдера минимизируемой функции. Исследованы вероятностные свойства указанных последовательностей, доказана сходимость метода и экспоненциальная скорость сходимости с вероятностью 1. Получены оценки расстояния при конечном числе итераций до точного значения глобального минимума и его вероятности. Работоспособность метода подтверждена на многочисленных тестовых задачах.

1. Введение

Проблема поиска глобального экстремума на компактном множестве традиционно привлекает интерес исследователей. Он обусловлен, с одной стороны, ростом количества прикладных задач, где требуется отыскивать глобальный экстремум функций, определенных на пространствах достаточно высокой размерности, а с другой — отсутствием сходящихся численных методов для решения прикладных задач, в которых отсутствует априорная информация о свойствах целевой функции и морфологии компакта.

Теории глобальной оптимизации посвящено огромное количество работ, ориентированных на определенные классы задач. Не претендуя на полноту классификации, можно выделить три направления исследований.

Одно из них связано с конфигурацией целевой функции и допустимого множества. Наиболее продвинутое в этом классе является так называемая *DC*-минимизация, когда целевая функция и функции, описывающие допустимое множество, строятся в виде разностей двух выпуклых функций. Наиболее полное представление о достижениях этого направления можно составить по монографиям [1–3].

Другое направление изучает задачи глобальной оптимизации на простых допустимых множествах (например, параллелепипедах) и целевых функций с известной константой Липшица. Прекрасный обзор результатов в этом направлении представлен в монографиях [4; 5]. Среди работ этого направления следует выделить работы, посвященные редукции n -мерной задачи к одномерной с помощью кривых Пеано [6; 7].

И наконец, третье, наиболее продуктивное направление базируется на случайном поиске (методе Монте-Карло) и его разнообразных интеллектуализированных эвристиках [8–10]. Одна из существенных проблем, возникающих при применении испытаний Монте-Карло — генерация равномерно распределенных случайных векторов в заданной области пространства поиска. По-видимому, базовыми в этой проблеме являются метод «Hit-and-Run» и его многочисленные модификации [11; 12], методы, использующие марковские цепи [13; 14] и энтропию Кульбака — Ляйблера [15; 16].

Предлагается отличный от существующих подход к проблеме поиска глобального минимума, основанный на простых испытаниях Монте-Карло с последующей их селекцией, новизна и потенциальная эффективность которого состоит в следующем:

- ориентирован на общие задачи глобальной оптимизации с алгоритмически вычисляемыми функциями, удовлетворяющими условию Гельдера, но с неизвестными константами;
- используются пакетные итерации с простыми переборными испытаниями Монте-Карло для формирования последовательности «квази-глобальных» минимумов;
- в отличие от существующих методов случайного поиска (Монте-Карло) доказываемая сходимость пакетных итераций с экспоненциальной скоростью с вероятностью 1;
- сформулировано вероятностное правило остановки и получены вероятностные характеристики приближенного (при конечном числе итераций) решения.

2. Каноническая форма задачи глобальной оптимизации

Рассмотрим задачу глобальной минимизации (globmin):

$$\text{globmin } f(\mathbf{x})$$

при ограничениях

$$\mathbf{x} \in \mathcal{G}_x = \{\mathbf{x} : \mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{0}, \mathbf{x} \in R^d\}, \mathbf{g} \in R^r, r < d. \quad (2.1)$$

Целевая функция $f(\mathbf{x})$ удовлетворяет условию Гельдера с константами $H > 0$ и $w > 0$, то есть ее модуль непрерывности имеет вид

$$\omega(t) = \max_{(\tilde{\mathbf{v}}, \tilde{\mathbf{y}}) \in R^d : \|\tilde{\mathbf{v}} - \tilde{\mathbf{y}}\| \leq t} |f(\tilde{\mathbf{v}}) - f(\tilde{\mathbf{y}})| \leq Ht^w. \quad (2.2)$$

Функции $\mathbf{g}(\mathbf{x})$ в (2.1) предполагаются непрерывными.

Каноническую форму задачи (2.1) представим в виде

$$\text{globmin } F(\mathbf{z}) \quad (2.3)$$

при ограничениях:

$$\mathbf{z} \in \mathcal{K}_z = \mathcal{G}_z \cap Z_+^d, Z_+^d = \{\mathbf{z} : \mathbf{0} \leq \mathbf{z} \leq \mathbf{1}\} \subset R^d, \\ \mathcal{G}_z = \{\mathbf{z} : \mathbf{w}(\mathbf{z}) \leq \mathbf{0}, \mathbf{z} \in Z_+^d\}, \mathbf{w} \in R^r, r < d. \quad (2.4)$$

Связь между исходной задачей и ее канонической формой определяется непрерывно-дифференцируемым и взаимно-однозначным преобразованием переменных:

$$\mathbf{z} = \mathcal{T}(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} = \mathcal{T}^{(-1)}(\mathbf{z}). \quad (2.5)$$

Этим условиям удовлетворяют довольно много преобразований. Например, следующее:

$$\mathbf{z} = \frac{1}{1 + \exp(-\mathbf{a} \otimes \mathbf{x})}, \quad \mathbf{x} = -\frac{1}{\mathbf{a}} \otimes \ln\left(\frac{(1-\mathbf{z})}{\mathbf{z}}\right). \quad (2.6)$$

Здесь $\exp(-\cdot \otimes \cdot)$, $\ln(\cdot)$ — n -мерные вектора с компонентами $\exp(-\circ_i \circ_i)$ и $\ln(-\circ_i)$ соответственно.

Во многих прикладных задачах областью определения переменных $\mathbf{x}$ является не все пространство R^d , а его подмножество — d -мерный параллелепипед Π_x . Тогда задача (2.1) формулируется следующим образом:

$$\text{globminf}(\mathbf{x}) \text{ для } \mathbf{x} \in \Pi_x \cap \mathcal{G}_x, \quad (2.7)$$

где

$$\begin{aligned} \Pi_x &= \{\mathbf{x} : \mathbf{a} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{b}\}, \quad \mathbf{x} \in R^d, \\ \mathcal{G}_x &= \{\mathbf{x} : \mathbf{g}(\mathbf{x}) \leq \mathbf{0}, \quad \mathbf{x} \in R^d\}, \quad \mathbf{g} \in R^r, \quad r < d. \end{aligned} \quad (2.8)$$

В этих выражениях n -мерные векторы $\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$ имеют фиксированные компоненты a_i , b_i , $i = \overline{1, n}$ и функции $g_l(\mathbf{x})$, $l = \overline{1, r}$ — непрерывны.

Преобразование (2.5) приобретает следующий простой вид:

$$\mathbf{z} = (\mathbf{x} - \mathbf{a}) \otimes \left(\frac{1}{\mathbf{b} - \mathbf{a}} \right). \quad (2.9)$$

Обозначим через $\mathbb{Z}^*$ множество $\mathbf{z}^*$ точек глобального минимума, а через $F(\mathbf{z}^*) = F^*$ — значение глобального минимума в задаче (2.3).

Функция $F(\mathbf{z})$ в силу непрерывности преобразования (2.5), очевидно, ограничена снизу на $\mathcal{K}_z$, то есть существует константа c , для которой

$$F^* \geq c. \quad (2.10)$$

Константа c в общем случае неизвестна, но в некоторых специальных задачах глобальной минимизации она равна нулю. Это так, например, в задачах, где функция $F(\mathbf{z})$ имеет смысл невязки между левой и правой частями некоторой системы уравнений.

Функция $F(\mathbf{z}^*)$ также удовлетворяет условию Гельдера, но с другими константами L и p :

$$\omega(h) = \max_{(\mathbf{v}, \mathbf{y}) \in \mathcal{K}_z, \|\mathbf{v} - \mathbf{y}\| \leq h} |F(\mathbf{v}) - F(\mathbf{y})| \leq Lh^s. \quad (2.11)$$

Цель работы состоит в построения сходящегося с вероятностью 1 алгоритма (будем называть его **GFS** «generation, filtration, selection») поиска какой-либо точки $\mathbf{z}^* \in \mathbb{Z}^*$ глобального минимума функции $F(\mathbf{z})$ на множестве $\mathcal{K}_z$ с использованием простых переборных испытаний Монте-Карло.

3. Общая идея алгоритма GFS

Рассмотрим случай, когда допустимое множество представляет собой единичный неотрицательный куб Z_+^n (2.3). В разделе 5 будет показано, как работает

алгоритм, если допустимое множество в (2.1) задается непрерывными функциями $g(\mathbf{x})$.

На k -м шаге алгоритма ($k = 0, 1, 2, \dots$) генерируется пакет $\mathcal{Z}_k$ из N_k независимых и равномерно распределенных на Z_+^n случайных векторов $\{\mathbf{z}^1, \dots, \mathbf{z}^{N_k}\}$. Вычисляются значения функции $F(\mathbf{z}^j)$, $j = \overline{1, N_k}$, находится ее минимальное значение F_k^* и аргумент $\mathbf{z}_k^*$ для пакета. В силу случайного характера МК-испытаний «квази-глобальное» значение целевой функции F_k^* — случайное.

Переход к $(k+1)$ -му шагу состоит в увеличении количества случайных векторов по определенному правилу и нахождению нового «квази-глобального» минимума F_{k+1}^* для $(k+1)$ -го пакета.

Формируется строго-монотонно убывающая последовательность значений «квази-глобальных» минимумов

$$\hat{\mathcal{F}}^* = \{F_0^* > F_1^* > \dots\}, \quad (3.1)$$

и последовательность ее декрементов

$$\mathcal{U} = \{u_1, \dots, u_k, \dots\}, \quad (3.2)$$

где $u_i = |F_i^* - F_{i+1}^*|$.

Алгоритм останавливается, когда последовательность случайных величин u_k в течение p шагов остается в заданной окрестности нуля, то есть количество шагов до остановки алгоритма

$$\tau = \min \{k : \max_{k-p \leq s \leq k} u_s \leq \delta\}. \quad (3.3)$$

Под решением задачи (2.3) понимается набор

$$S = \{F_\tau^*, \mathbf{z}_\tau^*, r_\tau^+, P(\mathcal{E}_{r_\tau^+})\}, \quad (3.4)$$

где F_τ^* , $\mathbf{z}_\tau^*$ — приближенные значения глобального минимума и его аргумента соответственно;

r_τ^+ — оценка максимального расстояния от полученного значения «квази-глобального» минимума до его точного значения;

событие

$$\mathcal{E}_{r_\tau^+} = \{|F_\tau^* - F^*| \leq r_\tau^+\}; \quad (3.5)$$

$P(\mathcal{E}_{r_\tau^+})$ — оценка вероятности события (3.5).

4. Теоретический анализ свойств алгоритма

4.1. Вероятностные характеристики пакета $\mathcal{Z}_k$

Источником формирования пакета $\mathcal{Z}_k$ является датчик случайных последовательностей, который на k -ом шаге генерирует $(d \times M_k)$ -мерный массив независимых случайных чисел, равномерно распределенных на отрезке $[0, 1]$. Из них формируется пакет из N_k независимых и равномерно распределенных на неотрицательном единичном кубе случайных векторов $\mathcal{Z}_k = \{\mathbf{z}^1, \dots, \mathbf{z}^{N_k}\}$. Преобразование $(d \times M_k)$ -мерного массива независимых случайных чисел в случайные векторы может реализовывать разными алгоритмами.

Например, связь между M_k и N_k может иметь следующий вид:

$$N_k = M_k^d, \quad (4.1)$$

$$\text{или } N_k = M_k \quad (4.2)$$

При тестировании алгоритма использовался датчик случайных векторов (4.2).

Объем пакета N_k (и объем каждой координатной последовательности из M_k случайных чисел) случайных векторов изменяется от шага к шагу для (4.2) по следующему правилу:

$$N_{k+1} = \alpha N_k, M_{k+1} = \alpha M_k, \alpha < 1, k = 0, 1, 2, \dots \quad (4.3)$$

Рассмотрим единичный куб Z_+^n (2.3) и его разбиение на элементарные кубы с помощью равномерной решетки с шагом

$$\eta_k = M_k^{-q}, (0 < \gamma \leq q \leq \beta < 1) \quad (4.4)$$

по каждой из его координат.

Обозначим через $P(N_k, d, q)$ вероятность того, что найдется элементарный куб, который не содержит ни одного из N_k сгенерированных на k -м шаге векторов. Оценка для этой вероятности определяется следующей леммой.

Лемма 1. При $k \rightarrow \infty$

$$P(N_k, d, q) \leq Q(k, d, q) = (N_k)^{qd} \exp(-dN_k^{(1-q)}). \quad (4.5)$$

Доказательство. Вероятность того, что в интервал длины k_k не попадет ни одна из M_k сгенерированных независимых и равномерно распределенных на $[0, 1]$ случайных величин, равна $(1 - M_k^{-q})^{M_k}$.

Пусть A_i — событие, состоящее в том, что для i -й координаты такой интервал на отрезке $[0, 1]$ найдется. Тогда

$$P(A_i) \leq (M_k^q + 1)(1 - M_k^{-q})^{M_k} = Q(k, q). \quad (4.6)$$

Здесь $(M_k^{-q} + 1)$ — верхняя оценка количества сегментов разбиения интервала $[0, 1]$ решеткой с шагом M_k^{-q} .

Так как

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \frac{(1 - x^{-q})^x}{\exp(-x^{(1-q)})} = 1, \text{ при } k \rightarrow \infty,$$

то в (4.6) имеет место следующее неравенство:

$$P(A_i) \leq Q(k, q) = M_k^q \exp(-M_k^{(1-q)}) \text{ при } k \rightarrow \infty. \quad (4.7)$$

Пусть B — событие, состоящее в том, что найдется d -мерный элементарный куб, не содержащий ни одного из сгенерированных векторов. Тогда $B = \bigcap_{i=1}^d A_i$. Поскольку по каждой координате генерируется независимый набор случайных величин, то отсюда получаем, что при $k \rightarrow \infty$

$$\begin{aligned} P(B) &= P(M_k, d, q) = \\ &= (P(A_i))^d \leq ((M_k^q + 1)(1 - M_k^{-q})^{M_k})^d. \end{aligned} \quad (4.8)$$

Учитывая (4.7), получим утверждение леммы. ■

Следствие 1. При $k \rightarrow \infty$ с вероятностью не менее, чем $1 - Q(k, d, q)$ в каждый элементарный куб со стороной M_k^{-q} попадает хотя бы один из сгенерированных на k -м шаге случайных векторов пакета.

4.2. Вероятностные свойства последовательности $\mathcal{F}_k^*$

Рассмотрим последовательность «квази-глобальных» минимумов $\tilde{\mathcal{F}}_k^* = \{F_{0^*}^*, \dots, F_{k^*}^*, \dots\}$ и последовательность их аргументов $\mathcal{Z}^* = \{\mathbf{z}_{0^*}^*, \dots, \mathbf{z}_{k^*}^*, \dots\}$.

Пусть $\mathbb{Z}^*$ — множество точек глобального минимума функции $F(\cdot)$ на единичном кубе. Введем расстояние $l(\cdot)$ от произвольной точки $\mathbf{z}$ до множества $\mathbb{Z}^*$ (учитывая, что оно компактно):

$$l(\mathbf{z}, \mathbb{Z}^*) = \min_{\mathbf{y} \in \mathbb{Z}^*} \|\mathbf{z} - \mathbf{y}\|. \quad (4.9)$$

Лемма 2. С вероятностью не менее, чем $1 - Q(k, d, q)$ имеет место оценка

$$|F^* - F_k^*| \leq \omega(h_k), \quad (4.10)$$

где $\omega(h_k)$ — модуль непрерывности функции $F(\mathbf{z})$ (2.11) и $h_k = \eta_k \sqrt{d}$.

Доказательство. Пусть $\hat{\mathbf{z}}$ — ближайшая (в смысле введенного расстояния (4.9)) к множеству $\mathbb{Z}^*$ точка из совокупности сгенерированных на k -м шаге случайных точек.

Так как в каждый элементарный куб со стороной k_k попадает с вероятностью не менее чем $1 - Q(k, d, q)$ хотя бы одна из сгенерированных точек, то расстояние

$$h_k = \|\mathbf{z}^* - \hat{\mathbf{z}}\| \leq \eta_k \frac{\sqrt{d}}{2}. \quad (4.11)$$

Это произойдет, если точка глобального минимума $\mathbf{z}^*$ находится в центре куба со стороной η_k , а ближайшие случайные точки расположились в вершинах этого куба, так что выполняется условие, что в каждом кубе есть хотя бы одна случайная точка. Тогда

$$|F^* - F(\hat{\mathbf{z}})| \leq \omega(h_k). \quad (4.12)$$

С другой стороны,

$$F^* = F(\mathbf{z}^*) = \min_{\mathbf{z} \in Z_+^d} F(\mathbf{z}) \leq \min_{1 \leq s \leq k} F_s^* < F(\hat{\mathbf{z}}), \quad (4.13)$$

то есть с учетом (4.12)

$$\begin{aligned} -\omega(h_k) &\leq F^* - F(\hat{\mathbf{z}}) \leq \\ &\leq \min_{\mathbf{z} \in Z_+^d} F(\mathbf{z}) - \min_{1 \leq s \leq k} F(\mathbf{z}_s) \leq 0. \end{aligned} \quad (4.14)$$

Окончательно,

$$\min_{\mathbf{z} \in Z_+^d} F(\mathbf{z}) - \min_{1 \leq s \leq k} F(\mathbf{z}_s) \leq -\omega(h_k). \quad (4.15)$$

с вероятностью не менее, чем $1 - Q(k, d, q)$. ■

Следствие 2. Для функций гильбертовского класса (2.11) существуют константы $L > 0, p > 0$ такие, что с вероятностью не менее чем $1 - Q(k, d, q)$ справедлива оценка

$$F^* - F_k^* \leq L \left(\frac{\sqrt{d}}{2} \right)^p N_k^{-pq} = r_k(q) \quad (4.16)$$

или

$$|P\{|F^* - F_k^*| \leq r_k(q)\}| \geq 1 - Q(k, d, q). \quad (4.17)$$

Замечание. Оценки (4.16), (4.17) зависят от параметра q , который влияет на величину объема элементарного куба в (4.4).

4.3. Сходимость алгоритма к глобальному минимуму

Полученные выше вероятностные характеристики последовательности $\tilde{\mathcal{F}}_k^*$ «квази-глобальных»

минимумов позволяют сформулировать следующую теорему о ее сходимости.

Теорема 1. Для функций, удовлетворяющих условию Гельдера, справедливы следующие утверждения.

1. Последовательность $\tilde{F}_k^*$ значений минимумов F_k^* сходится с вероятностью 1 к значению истинного минимума F^* с экспоненциальной скоростью.

2. Последовательность аргументов значений минимумов $\mathbf{z}_k^*$ сходится к множеству $\mathbb{Z}^*$ (в смысле расстояния (4.9)) с вероятностью 1.

Доказательство.

1. Фиксируем достаточно малое число $\varepsilon > 0$ и найдем число $K(\varepsilon)$ из условия $K(\varepsilon) = \min\{k: r_k \leq \varepsilon\}$, где $r(k)$ определяется в (4.16).

Тогда при $k > K(\varepsilon)$ имеет место следующее вложение событий:

$$\{|F^* - F_k^*| > \varepsilon\} \subset \{|F^* - F_k^*| > r_k\}. \quad (4.18)$$

Поэтому из (4.16) получаем, что вероятность последнего события оценивается, согласно (4.5), следующим образом:

$$\mathbf{P}\{|F^* - F_k^*| > \varepsilon\} \leq \mathbf{Q}(k, d, q). \quad (4.19)$$

Согласно (4.3), имеем

$$M_k = \alpha^k M_0 > k M_0, \text{ для } \alpha > 1, k = 1, 2, \dots \quad (4.20)$$

Оценку для $\mathbf{Q}(k, d, q)$ (4.5) представим в следующем виде:

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}(k, n, q) &= \alpha^{qdk} M_0^{qd} \exp\left(-\frac{d}{2} \alpha^{(1-q)k} M_0^{(1-q)}\right) \times \\ &\times \exp\left(-\frac{d}{2} \alpha^{(1-q)k} M_0^{(1-q)}\right). \end{aligned} \quad (4.21)$$

Одну из экспонент оценим, используя (4.20):

$$\exp\left(-\frac{d}{2} \alpha^{(1-q)k} M_0^{(1-q)}\right) < \exp\left(-\frac{k(1-q)}{2} M_0^{(1-q)}\right). \quad (4.22)$$

Теперь, полагая $x = \alpha^k M_0$, из (4.21) и (4.22), получим:

$$\mathbf{Q}(k, d, q) \leq \tilde{Q} \exp\left(-\frac{k(1-q)}{2} M_0^{(1-q)}\right), \quad (4.23)$$

где

$$\tilde{Q} = \max_{x \geq 0} x^{qd} \exp \frac{-dx^{(1-q)}}{2}.$$

Обозначим

$$C = \frac{1-q}{2} M^{(1-q)}.$$

Тогда вероятность (4.19) может быть оценена следующим образом:

$$\mathbf{P}\{|F^* - F_k^*| > \varepsilon\} \leq \tilde{Q} \exp(-Ck), \text{ для } k > K(\varepsilon). \quad (4.24)$$

Из (4.24) имеем:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}\{\sup_{s \geq 0} |F_k^* - F_{k+s}^*| > \varepsilon\} &\leq 2\mathbf{P}\{\sup_{s \geq k} |F^* - F_s^*| > \varepsilon/2\} \leq \\ &\leq 2 \sum_{s=k}^{\infty} \mathbf{P}\{|F^* - F_s^*| > \varepsilon/2\} \leq 2\tilde{Q} \sum_{s=k}^{\infty} \exp(-Cs) \\ &\text{при } k > K(\varepsilon/2). \end{aligned} \quad (4.25)$$

Таким образом, из (4.25) получаем, что при любых (достаточно малых) $\varepsilon > 0$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \mathbf{P}\{\sup_{s \geq 0} |F_k^* - F_{(k+s)}^*| > \varepsilon\} = 0, \quad (4.26)$$

что является необходимым и достаточным условием сходимости последовательности $\{F_k^*\}$ почти наверное. Из приведенных оценок следует, что скорость этой сходимости экспоненциальна.

2. В предположении противного найдется подпоследовательность последовательности $\{\mathbf{z}_k^*\}$ (без ограничения общности можно считать, что это сама последовательность $\{\mathbf{z}_k^*\}$), которая с положительной вероятностью сходится к точке $\tilde{\mathbf{z}} \notin \mathbb{Z}^*$. Тогда, в силу непрерывности функции $F(\cdot)$, с одной стороны, $\lim_k F(\mathbf{z}_k^*) = F(\tilde{\mathbf{z}}) > F^*$ с положительной вероятностью, а с другой стороны, в силу доказанного в п. 1), с вероятностью $\lim_k F(\mathbf{z}_k^*) = \lim_k F_k^* = F^* = F(\tilde{\mathbf{z}})$. Полученное противоречие доказывает утверждение. ■

Следствие 3. Строго-монотонная последовательность $\mathcal{F}_k^*$ (3.1) «квази-глобальных» минимумов сходится с вероятностью 1 к значению точного глобального минимума с экспоненциальной скоростью.

Последовательность $\mathcal{F}_k^*$ является подпоследовательностью сходящейся с вероятностью 1 и имеющей экспоненциальную скорость сходимости последовательности $\tilde{\mathcal{F}}_k^*$.

Следствие 4. Последовательность декрементов $\mathcal{U}_k$ (3.2) сходится с вероятностью 1 к нулю.

Замечание. Если существует окрестность U множества $\mathcal{Z}^*$, в которой справедлива оценка $F(\mathbf{z}) - F^* \geq b(l(\mathbf{z}, \mathcal{Z}^*))$, $\mathbf{z} \in U$ для некоторой монотонной функции g , то из (4.24) будет следовать экспоненциальная скорость сходимости последовательности $\{\mathbf{z}_k^*\}$ к множеству $\mathcal{Z}^*$ с вероятностью 1. Здесь $l(\mathbf{z}, \mathcal{Z}^*)$ — расстояние между вектором $\mathbf{z}$ и множеством $\mathcal{Z}$ точек глобального минимума.

4.4. Аппроксимация последовательности декрементов и оценивание констант Гельдера

Для функций гильдеровского класса имеет место оценка (4.16), которая для последовательности $\mathcal{F}_k^*$ приобретает следующий вид:

$$|F_k^* - F^*| \leq L \left(\frac{\sqrt{d}}{2} \frac{1}{N_k^q} \right)^p = r_k(q). \quad (4.27)$$

Применим эту оценку для $(k+1)$ -го шага:

$$|F_{k+1}^* - F^*| \leq L \left(\frac{\sqrt{d}}{2} \frac{1}{N_{(k+1)}^q} \right)^p. \quad (4.28)$$

Вычитая из первого неравенства второе и используя (4.3), получим:

$$u_k \leq L \left(\frac{\sqrt{d}}{2} \frac{1}{N_k^q} \right)^p (1 - \alpha^{-qp}) \sim L \left(\frac{\sqrt{d}}{2} \frac{1}{N_k^q} \right)^p = \tilde{u}_k, \quad (4.29)$$

полагая $\alpha^{-qp} \ll 1$.

Прологарифмируем (4.29):

$$v_k = \log \tilde{u}_k = \log L - p \left(q \log N_k - \log \frac{\sqrt{d}}{2} \right). \quad (4.30)$$

Введем следующие обозначения:

$$A^{(k)} = \log L, \quad n_k = \log N_k, \quad \tilde{n}_k = qn_k - \log \frac{\sqrt{d}}{2}. \quad (4.31)$$

Можно высказать *гипотезу**, оформленную в виде следующей *теоретической* модели процесса v_k (4.30) (при достаточно большом n_k):

$$v_k = A^{(k)} - p^{(k)} \tilde{n}_k + \zeta_k, \quad (4.32)$$

где ζ_k — последовательность случайных величин с нулевым математическим ожиданием и дисперсией D .

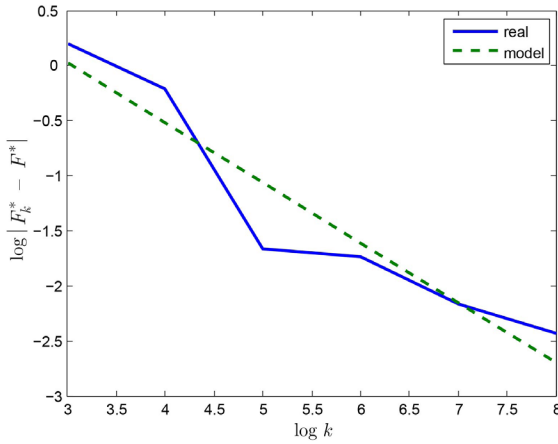


Рис. 1. Результат вычислительного эксперимента

Параметры $A^{(k)}, p^{(k)}$ связаны с константами Гельдера (4.30) L, p . Будем определять их оценки $\hat{A}^{(k)}(q), \hat{p}^{(k)}(q)$ методом наименьших квадратов по текущей информации об элементах последовательностей $\{v_k\}$ и $\{n_k\}$.

Таким образом, имеем оценки констант Гельдера $L^{(k)}(q) = a^{\hat{A}^{(k)}(q)}$ (a — основание логарифма) и $p^{(k)}(q)$, с использованием которых определяется оценка расстояния (4.27) до точного значения глобального минимума:

$$r_k(q) = L^{(k)}(q) \left(\frac{\sqrt{d}}{2} \frac{1}{N_k^q} \right)^{p^{(k)}(q)}. \quad (4.33)$$

4.5. Оценка среднего числа шагов алгоритма

Теорема 2. Оценка среднего числа шагов алгоритма до его остановки на шаге τ имеет вид:

$$E\{\tau\} \leq O\left(\sum_{T=1}^{\infty} \frac{1}{T^2}\right). \quad (4.34)$$

Доказательство. Введем целочисленную переменную $T > 0$ и рассмотрим событие

$$\varepsilon = \{\tau > T\}, \quad (4.35)$$

где τ — шаг, на котором происходит остановка алгоритма.

* Для иллюстрации этой гипотезы был проведен вычислительный эксперимент по определению зависимости $\log(F_k^* - F^*)$ от $\log k$ при $F^* = 0$. Результаты его показаны на рис. 1. По этим данным методом наименьших квадратов определялись параметры и среднеквадратическое отклонение аппроксимации (4.27). Последняя составила менее 12 %, что поддерживает данную гипотезу и адекватность модели (4.32).

Имеем

$$\mathcal{E} \subset \bigcup_{s=T-\rho}^T \{u_s > \delta\}. \quad (4.36)$$

Поэтому

$$\begin{aligned} P(\mathcal{E}) &\leq \sum_{s=T-\rho}^T P\{v_s > \log \delta\} \leq \\ &\leq (\rho + 1) \max_{T-\rho \leq s \leq T} P\{v_s > \log \delta\}. \end{aligned} \quad (4.37)$$

Из (4.32) получаем, используя неравенство Чебышева, следующее выражение:

$$\begin{aligned} P\{v_s > \log \delta\} &= P\{\zeta_s > \log \delta - \hat{A}^{(T)} + \hat{p}^{(T)} s\} \leq \\ &\leq \frac{\hat{D}^{(T)}}{(\log \delta - \hat{A}^{(T)} + \hat{p}^{(T)} s)^2}. \end{aligned} \quad (4.38)$$

Таким образом, согласно (4.37) имеем оценку искомой вероятности

$$\begin{aligned} (\mathcal{E}) &= (\rho + 1) \max_{T-\rho \leq s \leq T} \frac{\hat{D}^{(T)}}{(\log \delta - \hat{A}^{(T)} + \hat{B}^{(T)} s)^2} \leq \\ &\leq \frac{(\rho + 1) \hat{D}^{(T)}}{(\log \delta - \hat{A}^{(T)} + \hat{B}^{(T)} (T - \rho))^2} = O(1/T^2). \end{aligned} \quad (4.39)$$

Здесь $\hat{D}$ — оценка дисперсии случайной величины ζ в (4.32).

По определению среднее число шагов работы алгоритма до остановки равно

$$E\{\tau\} = \sum_{m=1}^{\infty} m P\{\tau = m\}. \quad (4.40)$$

Для $T > 2$ имеем

$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^T m P\{\tau = m\} &= \sum_{m=2}^T m (P\{\tau > m-1\} - P\{\tau > m\}) = \\ &= \sum_{m=2}^T (m-1) P\{\tau > m-1\} + \sum_{m=2}^T P\{\tau > m-1\} - \\ &- \sum_{m=2}^T m P\{\tau > m\} = \sum_{m=1}^{T-1} P\{\tau > m\} - T P\{\tau > T\}. \end{aligned} \quad (4.41)$$

Согласно (4.39)

$$\lim_{T \rightarrow \infty} T P\{\tau > T\} \leq \lim_{T \rightarrow \infty} T O(1/T^2) = 0. \quad (4.42)$$

Переходя в равенстве (4.41) к пределу при $T \rightarrow \infty$, получим:

$$E\{\tau\} = \sum_{T=1}^{\infty} P\{\tau > T\} \leq O\left(\sum_{T=1}^{\infty} 1/T^2\right). \quad (4.43)$$

Поскольку в правиле остановки используется последовательность декрементов, а точнее их логарифмов, то необходимо установить вероятность того, что после остановки алгоритма хотя бы одно значение $F_{\tau-\rho}^*, F_{\tau-\rho+1}^*, \dots, F_{\tau}^*$ окажется вне окрестности значения точного глобального минимума. Но из (4.16) и (4.24) следует, что эта вероятность при больших k она стремится к нулю. ■

Замечание. Если допустимое множество есть часть единичного куба вида (2.3), то при оценке вероятно-

стей в разделе 3 изменится только число элементарных кубов в разбиении допустимого множества, но оно заведомо не превосходит число таких кубов при разбиении единичного куба. Поэтому оценки вероятностей (а значит, и утверждения о сходимости алгоритма), приведенные в этом разделе, имеют место и в случае компакта вида (2.3), имеющего положительную меру Лебега. При реализации алгоритма в этом случае следует на каждом шаге проверять принадлежность каждой случайной точки допустимому множеству.

4.6. Вероятностные характеристики решения (3.1)

В момент остановки алгоритма на шаге имеются оценки параметров $A^{(v)}(q)$, $p^{(v)}(q)$ в уравнении (4.33). Используя их, можно оценить удаленность найденного значения «квази-глобального» минимума F_{τ}^* от значения глобального минимума F^* .

Согласно следствию 2, (4.16) и (4.33) имеем:

$$|F_{\tau}^* - F^*| \leq \max_{0 < \gamma \leq q \leq \beta < 1} r_{\tau}(q) = r_{\tau}^+. \quad (4.44)$$

Нижняя оценка вероятности события $\varepsilon_{r_{\tau}^+}$ (3.5), согласно лемме 1 имеет вид:

$$P_{r_{\tau}^+}^* = \min_{0 < \gamma \leq q \leq \beta < 1} (1 - N_{\tau}^{qd} \exp(-d[N_{\tau}]^{(1-q)})). \quad (4.45)$$

5. Логическая структура алгоритма

Алгоритм *PDP* ориентирован на поиск глобально-го экстремума для канонической формы задачи (2.3). Он состоит из двух процедур *SeqLocMin* и *EstProb*, первая из которых предназначена для формирования последовательностей локальных минимумов и их декрементов, и включает правило остановки, вторая для вычисления нижней оценки вероятности найденного значения «квази-глобального» минимума.

Процедуры состоят из последовательности k шагов, внутри которых выполняется некоторое количество s операций. Поэтому этапы процедуры будем индексировать парой (k, s) .

Процедура *SeqLocMin*. Введем следующие обозначения:

- d — размерность вектора $\mathbf{z}$;
- M_k — длина набора значений случайных чисел на шаге k по каждой из координат вектора $\mathbf{z}$;
- N_k — объем пакета $\mathcal{Z}_k$ случайных векторов на шаге k ($N_k = M_k$);
- $\mathcal{Z}_k = \{\mathbf{z}^1, \dots, \mathbf{z}^{N_k}\}$ — пакет случайных равномерно распределенных в Z^n векторов $\mathbf{z}$;
- $\mathcal{Y}_k = \{\mathbf{y}^1, \dots, \mathbf{y}^{\tilde{N}_k}\}$, $\tilde{N}_k \leq N_k$ — пакет допустимых случайных векторов, принадлежащих допустимому множеству $\mathcal{K}$ (2.3);
- $\tilde{N}_k$ — объем пакета $\mathcal{Y}_k$;
- $F_k^* = \min_{\mathbf{y} \in \mathcal{Y}_k} F(\mathbf{y})$ — минимум целевой функции F на допустимом пакете $\mathcal{Y}_k$;
- $\mathcal{F}_k = \{F_0^*, F_1^*, \dots, F_k^*\}$ — последовательность «квази-глобальных» минимумов;
- $u_i = |F_i^* - F_{(i-1)}^*|$, $i = \overline{1, k}$ — декремент последовательности $\mathcal{F}_k$;

$\mathcal{U}^k = \{u_0, u_1, \dots, u_k\}$ — последовательность декрементов;

$v_i, \log u_i$, $i = \overline{0, k}$;

$\mathcal{V}^k = \{v_0, v_1, \dots, v_k\}$ — последовательность логарифмов декрементов;

$\tilde{\mathcal{V}}^k(\rho) = \{\tilde{v}_{k-\rho}, \tilde{v}_{k-\rho+1}, \dots, \tilde{v}_k\}$ — последовательность логарифмов декрементов, меньших $\log \delta$;

$n_i, \log \tilde{N}_i$, $i = \overline{0, k}$;

$\mathcal{N}^k = \{n_0, n_1, \dots, n_k\}$ — последовательность логарифмов объемов пакетов;

δ — допустимая погрешность вычисления значений декрементов;

ρ — заданное количество элементов последовательности $\tilde{\mathcal{V}}^k(\rho)$, которые должны оставаться внутри заданной трубки.

Каждый шаг k состоит из трех основных этапов:

- *генерация* — создание набора случайных точек;
- *фильтрация* — отбор допустимых точек;
- *выбор* — выбор минимального значения целевой функции на множестве допустимых точек.

Этапы выполняются последовательно. Таким образом вычислительная схема k -го шага данной процедуры состоит в следующем:

1. Генерация. Формируется пакет случайных векторов $\mathcal{Z}_k = \{\mathbf{z}^1, \dots, \mathbf{z}^{N_k}\}$, $N_k = \alpha N_{k-1}$.

2. Фильтрация. Из пакета $\mathcal{Z}_k$ выбираются вектора принадлежащие допустимому множеству $\mathcal{K}$, то есть формируется пакет $\mathcal{Y}_k$ объемом $\tilde{N}_k$.

3. Выбор. Вычисляются значения целевой функции на допустимом наборе точек $F(\mathbf{y}^i)$, $i = \overline{1, \tilde{N}_k}$. Выбирается минимальное $F_k^* = \min_{1 \leq i \leq \tilde{N}_k} F(\mathbf{y}^i)$. Вычисляется декремент $u_k = |F_k^* - F_{k-1}^*|$, $v_k = \log u_k$ и $n_k = \log N_k$.

Таким образом, в результате работы процедуры формируются последовательности $\mathcal{F}_k$, $\mathcal{U}_k$, $\mathcal{V}_k$, $\mathcal{N}_k$. В случае, если на текущем шаге k $v_k < \log \delta$, то значение v_k включается в последовательность $\tilde{\mathcal{V}}_k$.

Если последовательность $\tilde{\mathcal{V}}^k$ содержит не менее ρ элементов, то происходит переход к процедуре *EstProb*.

Процедура *EstProb*. Введем следующие обозначения:

- $\hat{A}^{(k)}, \hat{p}^{(k)}$ — оценки параметров аппроксимации после k шагов;
- ε_j — событие, состоящие в том, что $v_j \leq \log \delta$;
- $P_{r_{\tau}^+}^*$ — нижняя оценка вероятности (4.45);
- r_{τ}^+ — верхняя оценка расстояния до точного решения (4.44);

Процедура состоит из двух основных этапов:

- *вычисление оценок* — вычисление оценок параметров аппроксимации процесса решения после k шагов;
- *вычисление показателей качества* — вычисление показателей, характеризующих качество полученного на шаге k решения.

Этапы выполняются последовательно. Таким образом вычислительная схема k -го шага данной процедуры состоит в следующем.

1. *Вычисление оценок.* Используя последовательности $\mathcal{N}_k$ и $\mathcal{V}_k$, вычисляются оценки параметров $\hat{A}^{(k)}$, $\hat{p}^{(k)}$ методов наименьших квадратов (МНК).

2. *Вычисление показателей качества.* Вычисляется расстояние $r_\tau(q)$ (4.44) и его максимум $r_\tau^+ = \max_{0 \leq \gamma < q < \beta \leq 1} r_\tau(q)$. Вычисляется вероятность $P_{r_\tau^+}^*$ (4.45).

На рис. 2 изображена структурная схема алгоритма PDP.

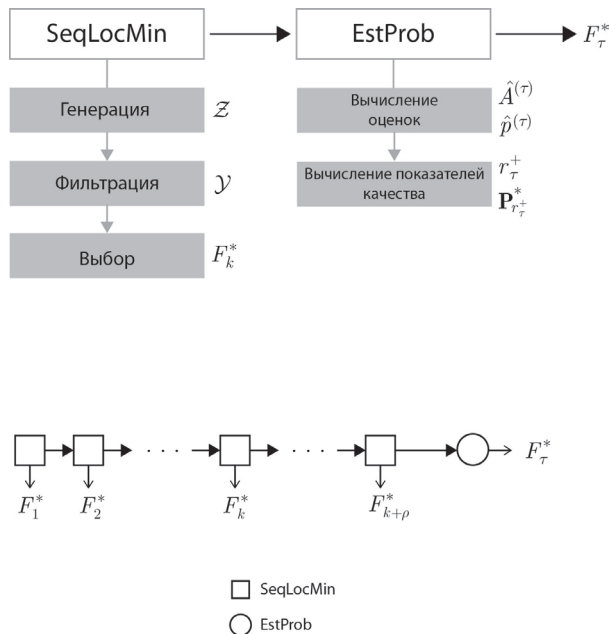


Рис. 2. Схема алгоритма PDP

Таким образом, результатом работы алгоритма является приближенное решение задачи, снабженное показателями качества, позволяющими судить о его допустимости для целей конкретной практической задачи.

6. Тестирование работоспособности алгоритма GFS

Тестирование вычислительного алгоритма предполагает проведение двухэтапных компьютерных экспериментов, на первом этапе которых исследуется работоспособность алгоритма на тестовых задачах, а на втором анализируется его сравнительная эффективность.

Исследование работоспособности PDP проводилось на некоторых задачах из [4; 19–21], в которых допустимая область представляла собой параллелепипед Π_x со сторонами, указанными в приложении. Аналитический вид функций $f(x)$ в (2.1), значения глобального минимума и его аргумента, точного (со знаком =) и приближенного (со знаком $\approx$) приведены в приложении (в табл. 1, 2 они обозначены A1–A10).

Во всех расчетах $N_0 = 10$, $\alpha = 10$, $\delta = 0,001$, $\rho = 3$, $\tau = 9$, $\varepsilon_\tau = |f^* - f_\tau^*|$. Результаты расчетов приведены в табл. 1 и 2, где t — время в секундах, затраченное на получение решения.

Алгоритм был реализован на платформе MATLAB R2012b с использованием модуля Parallel Computing Toolbox (PCT) версии 6.1. Три основных этапа процедуры SeqLocMin были реализованы для проведения

вычислений на графическом процессоре, что позволило существенно снизить время получения решения задачи. Расчеты проводились на рабочей станции с процессором Intel Core i7-920, 6 Гб памяти и вычислительным процессором NVidia Tesla C2070 под управлением 64-разрядной операционной системы Microsoft Windows 7 Professional.

Из приведенных таблиц видно, что во всех задачах получены приближенные значения глобальных минимумов с погрешностью от 10^{-9} до 10^{-2} . Для задач A1–A7 получены адекватные значения верхних оценок r_τ расстояний до точного глобального минимума с вероятностью почти 1. От размеров начальной области поиска численные результаты и временные затраты практически не зависят.

Таблица 1

Значения глобального минимума и его аргумента (точного, со знаком =)

Функция	Π_x	f_τ^*	x_τ^*	ε_τ	r_τ	t, c
A1	$[-10; 10]$	-9,6040	4,0556	0,5430	1,1763	918
			4,0280			
			4,0321			
			3,9698			
	$[-5; 5]$	-10,0231	3,9704	0,1299	0,5876	907
			3,9840			
			4,0060			
			4,0120			
	$[0; 5]$	-10,1325	4,0042	0,0205	0,2367	908
			3,9944			
			3,9875			
			4,0014			
	$[3,5; 4,5]$	-10,1515	3,9976	0,0015	0,0014	905
			4,0031			
			4,0017			
			4,0003			
A2	$[-5; 5]$	-156,6823	2,9119	0,0183	0,1351	723
			2,9105			
			2,8804			
			2,8823			
A3	$[-10; 10]$	$2,05 \cdot 10^{-7}$	1,0004	$2,05 \cdot 10^{-7}$	$9,42 \cdot 10^{-6}$	556
			1,0090			
	$[-50; 50]$	$2,425 \cdot 10^{-5}$	1,0039	$2,42 \cdot 10^{-5}$	$4,22 \cdot 10^{-4}$	553
			1,0075			
	$[0; 1]$	$4,4 \cdot 10^{-9}$	0,9999	$4,4 \cdot 10^{-9}$	$6,51 \cdot 10^{-8}$	557
			0,9998			
A4	$[-10; 10]$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	2,9998	$1,4 \cdot 10^{-8}$	$2,61 \cdot 10^{-6}$	580
			0,5000			
	$[0; 10]$	$1,77 \cdot 10^{-7}$	3,0010	$1,77 \cdot 10^{-7}$	$2,12 \cdot 10^{-6}$	583
			1,0075			
A5	$[-10; 10]$	3,0000	-0,0004	0,00004	0,0026	640
			-1,0000			
	$[-1; 1]$	3,0000	$3,55 \cdot 10^{-5}$	$4,11 \cdot 10^{-7}$	$1,09 \cdot 10^{-5}$	645
			-1,0000			
	$[-1; 0]$	3,0000	0,0000	$1,26 \cdot 10^{-7}$	$9,65 \cdot 10^{-6}$	590
			-1,0000			
A6	$[-10; 10]$	$8,62 \cdot 10^{-4}$	-0,0001	0,00086	0,00102	583
			-0,0003			
	$[-1; 1]$	$4,35 \cdot 10^{-4}$	$1,54 \cdot 10^{-4}$	0,00044	0,00386	597
			$4,81 \cdot 10^{-6}$			

Таблица 2

**Значения глобального минимума и его аргумента
(приближенного, со знаком $\approx$)**

Функ- ция	P_x	f^*_τ	x^*_τ	ε_τ	r_τ	t, c
A7	$[-512; 512]$	-959,6382	511,9998	0,0025	0,2292	938
			404,2714			
	$[0; 512]$	-959,6340	511,9983	0,0067	0,0652	939
			404,2575			
	$[404; 512]$	-959,6387	511,9996	0,002	0,0055	951
			404,2073			
A8	$[-10; 10]$	-11,0310	4,0027	0,0012	—	925
			4,0024			
	$[0; 10]$	-11,0310	4,0027	0,0012	—	922
			4,0022		—	
	$[3; 5]$	-11,0310	4,0027	0,0012	—	916
			4,0021			
A9	$[-50; 50]$	-0,998	31,9775	$3,84 \cdot 10^{-6}$	—	1451
			31,9810			
A10	$[-5; 5]$	-78,3	2,9035	0,0004	—	564
			2,9035			

7. Заключение

Предложен новый метод поиска решений задач глобальной оптимизации с непрерывными целевой функцией и функциями в ограничениях, которые могут быть заданы только алгоритмически. Метод базируется на простых испытаниях Монте-Карло, с помощью которых формируются в результате пакетных итераций последовательности «квази-глобальных» минимумов и их декрементов. Доказывается их сходимость с экспоненциальной скоростью и с вероятностью 1. Для конечного числа итераций получены верхние оценки удаленности от точного глобального минимума и нижние — для сопровождающей ее вероятности. Решения тестовых задач подтвердили работоспособность алгоритма PDP.

Библиографический список

- Horst, R. Introduction to Global Optimization / R. Horst, P. M. Pardalos, N. V. Thoai. Dordrecht : Kluwer Academic, 1996.
- Стрекаловский, А. С. Элементы невыпуклой оптимизации / А. С. Стрекаловский. Новосибирск : Наука, 2003. 355 с.
- Rubinov, A. M. Abstract Convexity and Global Optimization / A. M. Rubinov. Dordrecht : Kluwer, 2000.
- Strongin, R. G. Global Optimization with Non-Convex Constraints. Sequential and Parallel Algorithms / R. G. Strongin, Ya. D. Sergeyev. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers, 2000.
- Сергеев, Я. Д. Диагональные методы глобальной оптимизации / Я. Д. Сергеев, Д. Е. Квасов. М. : Физматлит, 2008. 351 с.
- Sergeev, Y. D. Introduction to Global Optimization Exploiting Space-Filling Curves / Y. D. Sergeyev, R. G. Strongin, D. Lera. New York : Springer New York, 2013. 125 p.
- Тихонова, М. В. Параллельная условная глобальная оптимизация при математическом моделировании кинетики химических реакций / М. В. Тихонова, В. В. Рябов, С. И. Спивак, И. М. Гибайдуллин // Вычислит. методы и программирование. 2013. Т. 14. С. 262–268.
- Caflich, R. E. Monte Carlo and quasi-Monte Carlo methods / R. E. Caflich // Acta Numerica. 1998. P. 1–49.
- Rubinstein, R. Y. Simulation and the Monte Carlo Method / R. Y. Rubinstein, D. P. Kroese. London : John Wiley & Sons, 2008. 372 p.
- Стронгин, Р. Г. Параллельные вычисления в задачах глобальной оптимизации / Р. Г. Стронгин, В. П. Гергель, В. А. Гришагин, К. А. Баркалов. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2012. 276 с.
- Zabinsky, Z. B. Improving Hit-and-Run for Global Optimization / Z. B. Zabinsky, R. L. Smith, F. McDonald et al. // J. of Global Optimization. 1993. Vol. 3. P. 171–192.
- Polyak, B. Hit-and-Run: New design technique for stabilization, robustness and optimization of linear systems / B. Polyak, E. Gryasina // Proc. of the IFAC World Congress. 2008. P. 376–380.
- Hastings, W. K. Monte Carlo sampling methods using Markov chains and its applications / W. K. Hastings // Biometrika. 1970. Vol. 57. P. 92–109.
- Боровков, К. А. Об одном новом варианте метода Монте-Карло / К. А. Боровков // Теория вероятностей и ее применения. 1991. Т. 36, вып. 2. С. 342–346.
- Rubinstein, R. Y. The Cross-Entropy Methods. A Unified Approach to Combinatorial Optimization, Monte-Carlo Simulation, and Machine Learning / R. Y. Rubinstein, D. P. Kroese. Springer, 2004. 300 p.
- Зорин, А. В. Методы Монте-Карло для параллельных вычислений / А. В. Зорин, М. А. Федоткин. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2013. 187 с.
- Feller, W. An Introduction to Probability Theory and its Applications / W. Feller. London ; New York : John Wiley & Sons, 1957.
- Колмогоров, А. Н. Элементы теории функций и функционального анализа / А. Н. Колмогоров, С. В. Фомин. 7-е изд. М. : Физматлит, 2012. 570 с.
- Fu, M. C. Model-Based Randomized Methods for Global Optimization [Электронный ресурс] / M. C. Fu, J. Hu, S. I. Marcus // Proc. of the 17th International Symposium on Mathematical Theory of Networks and Systems, Kyoto, Japan, July 24–28, 2006. URL: <http://scholar.rhsmith.umd.edu/sites/default/files/mfu/files/fhm06.pdf>.
- Virtual Library of Simulation Experiments: Test Functions and Datasets [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sfu.ca/ssurjano/optimization.html> (Дата обращения: 31.07.2014).
- Test functions for optimization [Электронный ресурс]. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Test_functions_for_optimization (Дата обращения: 31.07.2014).

Приложение

Ниже приведены описания тестовых задач поиска глобальных минимумов непрерывных функций на параллелепипедах.

A1. Shekel function

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \left(c_i + \sum_{j=1}^d (x_j - a_{ji})^2 \right)^{-1}, \quad m=5, \quad d=4, \quad f^* = -10,153, \quad \mathbf{x}^* = \mathbf{4,0}. \quad (\text{П.1})$$

$$A = \begin{pmatrix} 4 & 1 & 8 & 6 & 3 \\ 4 & 1 & 8 & 6 & 7 \\ 4 & 1 & 8 & 6 & 3 \\ 4 & 1 & 8 & 6 & 7 \end{pmatrix}, \quad c = \frac{1}{10}(1, 2, 2, 4, 4).$$

A2. Styblinski-Tang function

$$f(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^d x_i^4 - 16x_i^2 + 5x_i, \quad d=4, \quad f^* = -156,664, \quad \mathbf{x}^* = \mathbf{2,903534}. \quad (\text{П.2})$$

A3. Rosenbrock function

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^d 100(x_{i+1} - x_i)^2 + (x_i - 1)^2, \quad d=2, \quad f^* = 0, \quad \mathbf{x}^* = \mathbf{1}. \quad (\text{П.3})$$

A4. Beale's function

$$f(x) = (1,5 - x_1 + x_1x_2)^2 + (2,25 - x_1 + x_1x_2^2)^2 + (2,625 - x_1 + x_1x_2^3)^2, \quad f^* = 0, \quad \mathbf{x}^* = \{3; 0,5\}. \quad (\text{П.4})$$

A5. Goldstein-Price function

$$f(x) = (1 + (x_1 + x_2 + 1)^2(19 - 14x_1 + 3x_2^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2))(30 + (2x_1 - 3x_2)^2 \times \\ \times (18 - 32x_1 + 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2)), \quad f^* = 3, \quad \mathbf{x}^* = \{0; -1\}. \quad (\text{П.5})$$

A6. Ackley's function

$$f(x) = -20 \exp \left(-0,2(0,5(x_1^2 + x_2^2))^{\frac{1}{2}} \right) - \exp(0,5(\cos(2\pi x_1) + \cos(2\pi x_2))) + 20 + e, \quad f^* = 0, \quad \mathbf{x}^* = \mathbf{0}. \quad (\text{П.6})$$

A7. Eggholder function

$$f(x) = -(x_2 + 47) \sin(|x_2 + \frac{x_1}{2} + 47|)^{1/2} - x_1 \sin(|x_1 - (x_2 + 47)|)^{1/2}, \quad (\text{П.7})$$

$$f^* = -959,641, \quad \mathbf{x}^* = \{512, 404, 2319\}. \quad (\text{П.8})$$

A8. Shekel function

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \left(c_i + \sum_{j=1}^d (x_j - a_{ji})^2 \right)^{-1}, \quad m=10, \quad d=2, \quad f^* = -11,0298, \quad \mathbf{x}^* = \mathbf{4,0}. \quad (\text{П.9})$$

$$A = \begin{pmatrix} 4 & 1 & 8 & 6 & 3 & 2 & 5 & 8 & 6 & 7 \\ 4 & 1 & 8 & 6 & 7 & 9 & 5 & 1 & 2 & 3,6 \end{pmatrix}, \quad c = \frac{1}{10}(1, 2, 2, 4, 4, 6, 3, 7, 5, 5).$$

A9. De Jong 5th function

$$f(x) = \left(0,002 + \sum_{j=1}^m \left(j + \sum_{i=1}^2 (x_i - a_{ji})^6 \right)^{-1} \right)^{-1}, \quad m=25, \quad f^* = 0,998, \quad \mathbf{x}^* = \mathbf{-32}, \quad (\text{П.10})$$

$$a_{j1} = (-32, -16, 0, 16, 32, -32, -16, 0, 16, 32, -32, -16, 0, 16, 32, -32, -16, 0, 16, 32, -32, 16, 0, 16, 32)^T,$$

$$a_{j2} = (-32, -32, -32, -32, -32, -16, -16, -16, -16, -16, 0, 0, 0, 0, 16, 16, 16, 16, 16, 32, 32, 32, 32, 32)^T.$$

A10. Styblinski—Tang function

$$f(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^d x_i^4 - 16x_i^2 + 5x_i, \quad d=2, \quad f^* = -39,16599d, \quad \mathbf{x}^* = \mathbf{2,903534}. \quad (\text{П.11})$$

ЭВРИСТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ В ЗАДАЧАХ МАРШРУТИЗАЦИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Рассматривается задача маршрутной оптимизации для машины листовой фигурной резки металла. Предложен генетический алгоритм для решения задачи.

Введение. В настоящее время на различных предприятиях для создания листовых заготовок широко используются машины листовой фигурной резки с числовым программным управлением (ЧПУ). Постановка задачи резки приведена в [1]. Рассматривается задача по постановке аналогична известной задаче коммивояжера. Среди ее особенностей следует отметить, что траектория резки не совпадает с контуром детали, а происходит на некотором расстоянии от границы, вдоль эквидистантной кривой. Кроме того, точка врезки и точка выключения горелки при завершении вырезания контура находятся вне контура, по которому осуществляется резка металла. Также эти точки, вообще говоря, не совпадают. В дополнение к сказанному заметим, что на некоторые пары контуров накладываются так называемые условия предшествования, которые означают, что выделенные пары должны находиться на маршруте в определенной очередности, что является следствием технологических ограничений.

Предположим, что у каждого контура определена точка врезки и выключения режущего инструмента. Требуется определить очередность вырезания контуров контура при соблюдении условий предшествования, минимизируя при этом суммарные затраты на выполнение резки листа металла.

По постановке эта задача является, по существу, задачей коммивояжера с ограничениями в виде условий предшествования [2]. В монографии [2] для решения этой задачи предложена модификация метода динамического программирования. Дополнительную информацию по применению метода динамического программирования можно посмотреть в [3]. Недостатком этого метода является то, что на современной персональной вычислительной технике он в состоянии решать задачи с численностью до 30 объектов. В связи с этим, помимо развития метода динамического программирования, необходимо развивать и приближенные методы. В работе [4] предложена процедура, в которой оптимизируются фрагменты, а затем варьируют их сочетания.

В настоящей работе для решения задачи предлагается некоторый вариант генетического алгоритма.

Постановка задачи. Раскрой листа представляет собой множество деталей, состоящих из внутренних и внешних контуров ($i = 1, 2, \dots, n$). У каждого i -го контура имеется начальная точка врезки (x_i, y_i). Пусть

L_{ij} — расстояние между начальными точками врезки i -го и j -го контура ($i, j = 0, 1, \dots, n$). Необходимо найти кратчайший маршрут k из множества K допустимых маршрутов $k = (i_1, i_2, \dots, i_n)$, где $(i_1, i_2, \dots, i_n)$ — произвольная перестановка чисел $1, 2, \dots, n$.

Целевую функцию, подлежащую минимизации, запишем в виде

$$F(k) = (L_{0i_1}(x_0, y_0) + \sum_{j=1}^{n-1} L_{i_j i_{j+1}}(x_{i_j}, y_{i_j}, x_{i_{j+1}}, y_{i_{j+1}}) + L_{i_n 0}(x_{i_n}, y_{i_n})).$$

При определении порядка вырезки контуров деталей обязательным условием является то, что внешний контур детали обрабатывается только после обработки всех его внутренних контуров. Это порождает ограничение на очередность вырезания контуров, которое называется условием предшествования. Запишем матрицу структуры раскроя деталей $V_{n \times n} = (v_{ij})_{n \times n}$, где n — количество контуров ($i, j = 1, 2, \dots, n$). Элемент матрицы $v_{ij} = 1$, если i -ый контур принадлежит внутренней области j -го контура, иначе $v_{ij} = 0$. Любое допустимое решение задачи должно соответствовать сформированной матрице $V_{n \times n}$, то есть в случае $v_{ij} = 1$ необходимо, чтобы i -ый контур вырезался ранее j -го контура. Кроме этого, существует ряд различных технологических ограничений, связанных со спецификой исполнительного инструмента.

Генетический алгоритм. Генетический алгоритм — это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путем последовательного подбора, комбинирования и вариации искоемых параметров использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию.

Основными этапами решения задачи поиска маршрута с использованием генетического алгоритма (ГА) являются:

- создание группы разнообразных случайных маршрутов (в терминах ГА это называется популяцией), алгоритм создает первоначальную популяцию «жадным» образом (связывает точки, которые находятся ближе друг к другу);
- выбор двух лучших маршрутов на основании вычисления целевой функции $F(k)$ (в терминах ГА — родителей) в популяции и создание двух новых «дочерних» маршрутов;
- выполнение над дочерними маршрутами операции «мутация» для исключения из популяции одинаковых маршрутов;

– встраивание новых дочерних маршрутов в популяцию, заменяя два более длинных (родительских) маршрута; размер популяции остается тем же.

Один цикл работы ГА называется генерацией. Новые дочерние маршруты неоднократно создаются до тех пор, пока не будет обработано заданное число поколений (генераций).

Программа реализована в среде Visual Studio на языке C#. В качестве исходных данных выступает векторный файл формата DXF. В данном файле задается раскрой листа, то есть расположение деталей. Файл может быть создан любой известной программой, например AutoCAD.

Параметры:

1) «размер популяции» — это начальное количество случайных маршрутов (создаются при запуске алгоритма).

2) «размер группы» — это количество маршрутов для изучения в каждом поколении (лучшие два выбираются в качестве родителей, чьи дети в результате заменяют худшие 2 маршрута в популяции).

3) «мутация» (%) — вероятность того, что дочерние маршруты будут мутировать (изменяться).

4) «количество близких точек» — это количество точек, которые будут рассматриваться при создании начальной популяции.

5) «максимум генераций» — максимальное количество создаваемых поколений.

Вычислительный эксперимент. Эксперимент проводился на машине с процессором Intel Core 2 Duo 2 GHz с 4 Гб оперативной памяти. В качестве исходных данных были взяты материалы с интернет-ресурса TSPLIB [5]. Там предлагается текстовый формат следующего рода:

```
NAME : eil51
COMMENT : 51-city problem (Christofides/Eilon)
TYPE : TSP
DIMENSION : 51
EDGE_WEIGHT_TYPE : EUC_2D
NODE_COORD_SECTION
1 37 52
2 49 49
3 52 64
4 20 26
5 40 30
6 21 47
7 17 63
8 31 62
9 52 33
```

```
10 51 21
11 42 41
12 31 32
13 5 25
...
```

В данном примере задача коммивояжера на 51 город. Узлы (города) задаются координатами (x, y).

На том же ресурсе представлены результаты лучших решений таких задач. В ходе численного эксперимента зададимся целью сравнить результаты, полученные с помощью генетического алгоритма с лучшими решениями.

Для сравнения были взяты файлы на 51, 52, 439 городов. Результаты представлены в таблице:

	Лучшее	ГА
eil51	426	438
berlin52	7542	7580
pr439	107217	119400

Для 51, 52 узлов значение целевой функции оказалось на 0,5–2,8 % хуже лучшего решения. При этом время нахождения результата в пределах 2 минут. В случае с 439 узлами результат хуже на 11 % и время работы алгоритма увеличивается до 2,5 часов.

В результате работы программы графически отображается маршрут раскроя и соответствующее ему значение целевой функции $F(k)$, то есть длина маршрута.

Библиографический список

1. Петунин, А. А. Две задачи маршрутизации режущего инструмента для машин фигурной листовой резки с ЧПУ / А. А. Петунин // Интеллектуальные технологии обработки информации и управления : тр. Второй Междунар. конф. Уфа, 2014. С. 215–220.
2. Ченцов, А. Г. Экстремальные задачи маршрутизации и распределения заданий: вопросы теории / А. Г. Ченцов. М ; Ижевск: Ин-т компьютер. исслед., 2008. 240 с.
3. Сесекин, А. Н. Задачи маршрутизации перемещений / А. Н. Сесекин, А. А. Ченцов, А. Г. Ченцов. СПб. : Лань, 2011. 240 с.
4. Петунин, А. А. Локальные вставки на основе динамического программирования в задаче маршрутизации с ограничениями / А. А. Петунин, А. Г. Ченцов, П. А. Ченцов // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2014. Вып. 2. С. 56–75.
5. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg : сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95>.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И ДЕТАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ПОУРОВНЕВЫХ ИСКЛЮЧЕНИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ИНСТРУМЕНТА

Рассматривается точный метод оптимизации маршрута обхода объектов обработки, заданных декартовыми координатами, путем поуровневого построения и синтеза допустимых фрагментов маршрута. Тестирование на классе объектов обработки, выбранных без явных закономерностей с распределением объектов случайным образом, дает для заданного класса предварительную статистическую оценку вычислительной сложности метода как полиномиальную.

В процессе подготовки управляющих программ для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) часто возникает необходимость оптимизации холостых перемещений инструмента. Например, при изготовлении штампов, при сверлении отверстий, при фрезеровании карманов и т. п. Практическая постановка задачи характеризуется, как правило, небольшим числом (несколько десятков) автономных объектов обработки со случайным относительным расположением и явно не выраженной закономерностью распределения.

По сути, данную задачу можно свести к классической задаче о коммивояжере в следующей постановке. Имеется n городов, заданных декартовыми координатами на плоскости. Требуется найти такой порядок их обхода, чтобы каждый город был посещен ровно один раз, коммивояжер вернулся в тот город, с которого начал свой маршрут, при этом суммарное пройденное расстояние было минимальным. История возникновения задачи и обзор методов решения приведены, например, в [1]. Основываясь на практических примерах и особенностях специфики расположения объектов обработки, предлагается новый метод достаточно быстрого для реальных условий определения оптимального маршрута перемещения инструмента.

Для реализации предлагаемого метода необходимо предварительно определить некоторый исходный маршрут обхода (желательно близкий к минимальному), который будет использован, как первоначальный критерий для исключения строящихся маршрутов и их фрагментов из претендентов на оптимальность. Вычисление данного критерия можно выполнить одним из известных приближенных методов [2]. Для практической реализации целесообразно попытаться улучшить его, например, путем перемещения отдельных городов исходного маршрута на другие позиции (вставка каждого города между другими городами в найденном первоначальном маршруте), или путем замены двух несмежных ребер исходного маршрута.

Принцип построения оптимального маршрута — раннее выявление и исключение неперспективных составляющих (фрагментов) маршрута, с периодическим уточнением (улучшением) первоначального критерия при синтезе не исключенных фрагментов.

Сначала, по имеющимся координатам городов на плоскости (для общности будем называть города точками или вершинами), строится выпуклый многоугольник так, чтобы каждая его вершина была одной из имеющихся точек-городов, а оставшиеся точки (не являющиеся вершинами) лежали внутри многоугольника.

Если при построении все точки оказались вершинами выпуклого многоугольника (частный случай), то задача уже решена — получен оптимальный маршрут. В общем же случае часть точек будет находиться внутри многоугольника.

В искомом оптимальном маршруте последовательность обхода точек, соответствующих вершинам построенного выпуклого многоугольника, будет такой же, как при последовательном обходе всех вершин многоугольника (иначе появится самопересечение, чего в оптимальном маршруте быть не может). То есть точки, находящиеся внутри многоугольника, неопределенным пока образом распределятся в оптимальном маршруте между смежными вершинами выпуклого многоугольника. Очевидно, что оптимальный маршрут будет не меньше, чем сумма сторон такого выпуклого многоугольника.

Для реализации метода поуровневого исключения нас интересует величина приращения пути по выпуклому многоугольнику при включении в него всех точек, расположенных внутри многоугольника (до дополнения первой «внутренней» точкой эта величина равна нулю).

Определим величину верхней границы приращений. Для этого из исходного маршрута (первоначального критерия) вычтем сумму длин сторон выпуклого многоугольника.

С целью большей наглядности, будем иллюстрировать реализацию метода на конкретном примере.

Пусть имеется 10 городов, заданных в условных единицах (у. е.) декартовыми координатами на плоскости (рис. 1). Здесь же их графическое отображение с несколько «сжатыми» абсциссами (это сделано исключительно для наглядности визуализации).

Исходный маршрут: 1–2–4–9–3–6–7–8–5–10–1, длиной 9,633 у. е., определенный одним из приближенных методов, иллюстрирует рис. 2 (левая часть). После перемещения в нем точки 3 в позицию между 2 и 4, а также точки 10 в позицию между 1 и 2 (рис. 2 правая часть) он изменился — уменьшился до значения 9,591 у. е.

1	5,3	0
2	5,2	0,25
3	5	0,39
4	2,5	0,41
5	7	0,75
6	5,2	0,55
7	5,32	0,5
8	5,3	0,37
9	3,85	0,49
10	5,31	0,07

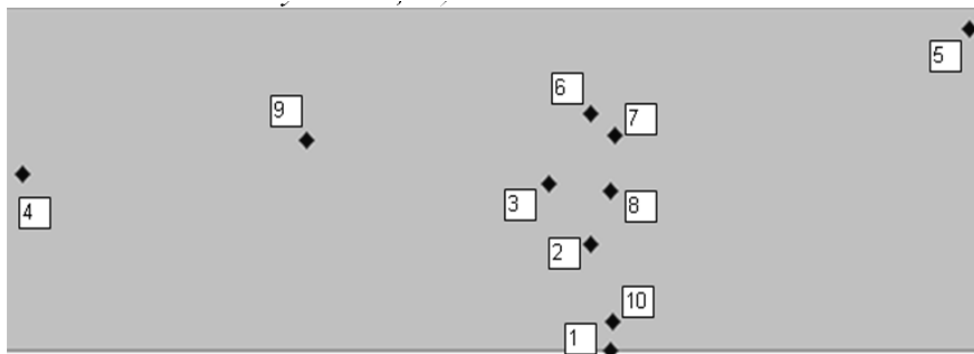


Рис. 1. Координаты городов на плоскости

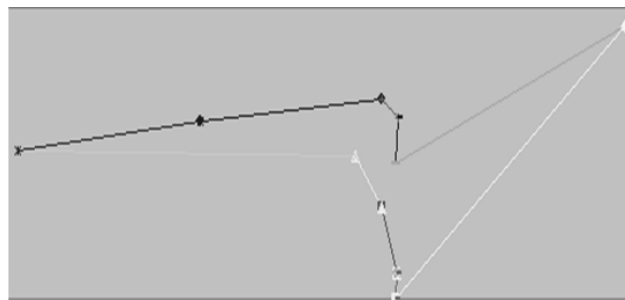
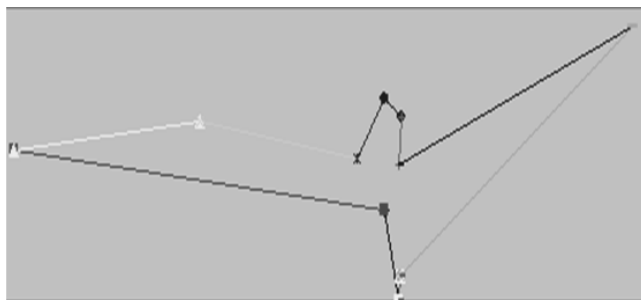


Рис. 2 Исходные маршруты (первоначальный критерий)

Далее определяем точки — вершины выпуклого многоугольника. Это 1, 4 и 5, т.е. есть в нашем примере в качестве выпуклой фигуры получился треугольник (рис. 3). Сумма его сторон равна 9,201 у. е. Отсюда величина верхней границы приращений $9,591 - 9,201 = 0,390$ у. е.

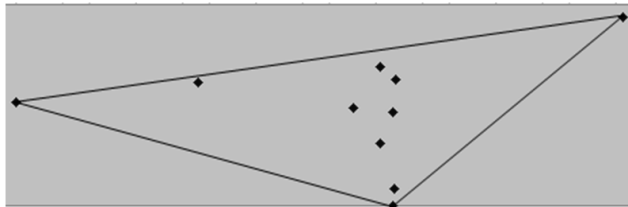


Рис. 3 Выпуклый многоугольник с 7 городами внутри

В последующем данная величина на определенных этапах процесса решения может корректироваться в сторону уменьшения. Это возможно при поуровневом синтезе допустимых, не исключенных фрагментов пути между смежными вершинами через выбранные внутренние точки. Фактически будем поэтапно строить от уровня к уровню допустимые в некотором смысле фрагменты пути, включающие одинаковое количество (соответствующее номеру уровня) внутренних точек, опираясь на каждую из сторон многоугольника.

Итак, построен выпуклый многоугольник. Выявление фрагментов оптимального маршрута происходит с учетом того, что часть оптимального пути сама должна быть оптимальной. Фрагменты (варианты пути между смежными вершинами), превышающие величину верхней границы приращений, естественно исключаются из рассмотрения.

Первоначально определяем возможность включения в маршрут между каждой из двух соседних вер-

шин выпуклого многоугольника каждой из его внутренних точек так, чтобы у такого включения (одна внутренняя точка между двумя смежными вершинами многоугольника) имелась возможность потенциально стать фрагментом оптимального маршрута. Для этого делаем проверку на отсутствие внутри треугольника, образованного данным включением, других внутренних точек. Иначе, при дальнейшем построении маршрута, появились бы самопересечения, что исключено в оптимальном маршруте (на следующих уровнях появится необходимость на всякий случай делать проверку и на отсутствие самопересечения по причине «включения к тыльной» стороне фрагмента). Пример такого включения на рис. 4 точка 3 к стороне 2–1 фрагмента пути 4–2–1

Вернемся к рассматриваемому примеру. На рис. 4 слева (фрагмент таблицы с признаком **1**) отсутствия внутри треугольника с вершинами «заголовок столбца», «заголовок строки» внутренних точек. Справа — соответствующее графическое отображение допустимых фрагментов от сторон выпуклого многоугольника. Так, между смежными вершинами 5 и 1 треугольника допустимо включить только одну внутреннюю точку 10, между 5 и 4 также одну точку 9, а между 4 и 1 возможно включение точки 9, 3, 2, либо 10.

Если включение допустимо, то вычисляем величину приращения пути, которое оно дает. Сравниваем ее с верхней границей приращений. Если она не больше, то имеем фрагмент уровня «1к1» (одна внутренняя точка на одну сторону многоугольника), который потенциально может быть частью оптимального маршрута, либо потенциально может породить такой фрагмент на следующих уровнях.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,1		1				1		1	1	1
3,1		1						1	1	
3,2						1	1	1	1	1
4,1		1	1						1	1
4,2			1					1	1	1
4,3		1				1	1	1	1	1
5,1										1
5,2								1		1
5,3							1	1		
5,4									1	

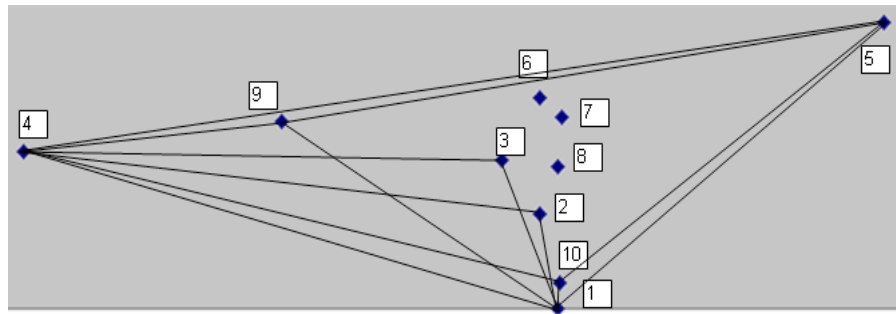


Рис. 4. Часть таблицы признаков отсутствия внутри треугольника точек и графическое отображение самих треугольников

В нашем примере в каждом из этих шести допустимых включений приращение не больше верхней границы 0,390. Для общности и простоты восприятия все фрагменты уровня «1к1» и глубже, а также их параметры сгруппированы в прямоугольные блоки. Они имеют единообразное оформление. Рассмотрим верхний левый угол (начало любого блока) это 3 строки по 4 ячейки. Например, у блока на рис. 5 (ячейки B120:H128), он выглядит так:

5 1		0	
10	5,1	0,034	1
	5 10 1	0,034	

Здесь указано, в какой фрагмент пути (в данном случае через сторону **51** выпуклого многоугольника) с соответствующим ему текущим приращением (величина **0**) включается внутренняя точка (точка с номером **10**), между какими смежными точками фрагмента (здесь **5,1**), какое при этом получится приращение (величина **0,034**), далее признак допустимости включения (если равен **1**, включение возможно). В последней из указанных строк фиксируется последовательность включения (последовательность обхода) точек фрагмента (здесь это **5 10 1**) и рядом справа суммарное приращение **0,034** для всего фрагмента (получено как сумма **0** и **0,034**). В нашем случае оно не больше верхней границы равной 0,390.

Если же величина приращения больше верхней границы, то фрагмент не является частью оптимального маршрута, и из него не будет проводиться построение следующего уровня — «две точки на одну сторону многоугольника» (уровень «2к1»).

Если величина приращения допустимого включения не больше верхней границы приращений, то построение из него фрагментов уровня «2к1» возможно, и тогда производим проверку, какими из оставшихся внутренних точек допустимо дополнить рассматриваемый фрагмент и между какими его смежными точками. Для каждой допустимой точки определяем приращения от возможных включений и выявляем минимальное из них.

Данная проверка производится в рамках текущего блока (ниже и правее только что рассмотренного верхнего угла блока) — это ячейки C123:H128 на рис. 5 (или те же на рис. 6, где указаны все блоки уровня «1к1»).

	A	B	C	D	E	F	G	H
120	5 1		5 1	0			0,079	0,061
121		10	5,1	0,034	1		7639	639
122			5 10 1	0,034		10,5	10,1	
123			7	1	1	0,307	0,860	0,341
124			3		1	0,656	0,867	0,690
125			6		1	0,482	0,981	0,516
126			2	1	1	0,257	0,409	0,292
127			9		1	2,858	2,979	2,893
128			8	1	1	0,220	0,599	0,255

Рис. 5. Пример блока уровня «1к1»

Здесь первый вертикальный диапазон C123:C128 — это номера внутренних точек, не входящих еще в путь **5 10 1**, описываемый блоком. Диапазон D123:D128 это признак допустимости включения (**1**), то есть проверки:

- 1) на отсутствие точек внутри треугольника, образованного соответствующей точкой (из C123:C128) и стороной **10,5** (ячейка F122);
- 2) на построение этого треугольника к «не тыльной» части стороны.

Аналогично, диапазон E123:E128 — признак допустимости включения, но уже относительно стороны **10,1** (ячейка G122). В диапазоне F123:G128 рассчитаны значения соответствующих приращений от включения точек из C123:C128 в отрезки пути из F122:G122. Последний из вертикальных диапазонов H123:H128 содержит для каждой потенциальной точки включения из C123:C128 минимально возможное приращение от ее потенциального включения в текущий путь (**5 10 1**). Например, число **0,341** (ячейка H123) получено как сумма значения **0,034** (ячейка D122) и минимума из значений **0,307** (ячейка F123) и **0,860** (ячейка G123).

Величина минимального приращения пути фрагмента для каждой точки из проверяемых на возможность включения вместе с признаком допустимости включения является критерием реальности включения (если нет превышения верхней границы приращений и признак допустимости равен единице). Если превышение есть, то соответствующие точки исключаются из формирования производных фрагментов (блоков последующих уровней из текущего блока). Если признак допустимости включения не единица

и при этом нет превышения, то соответствующие точки исключаются из формирования от текущего блока только блоков одного, последующего уровня.

Из рис. 5 следует, что для точек с номерами **3**, **6**, **9** (диапазон C123:C128) верхняя граница превышена, поэтому они не могут быть включены в путь между точками **5101**.

Необходимо отметить, что каждая из точек с выявленным превышением верхней границы обязательно должна быть включена в один из других фрагментов, отличных от текущего фрагмента. Значит, величину приращения от такого потенциального включения в другие фрагменты можно учитывать для уточнения возможности исключения оставшихся точек из текущего блока. Это можно сделать, например, путем уменьшения верхней границы приращений для текущего блока на выявленную величину минимального из возможных включений в другие фрагменты. Данный анализ выполнить проще, если его делать после формирования всех допустимых фрагментов (блоков) текущего уровня (рис. 6).

Анализ показывает, что точка **9** не может быть включена ни в один фрагмент пути от стороны **51**, поэтому она может быть включена либо (рис. 6) между **54** (см. блок с началом в ячейке B10) с почти нулевым приращением, либо между **41** (см. блок с началом в ячейке B102) с приращением 0,053. Естественно для оценки выбирается меньшее из этих приращений.

Точка **6** однозначно включится в путь от стороны **54** между **9,5** (смотри F17), так как приращение от ее включения (даже без учета признака допустимости) между точками **41**, превышает верхнюю границу приращений.

Наконец, точка **3** теоретически включается не между **41** (см. блок с началом в ячейке B90) с приращением 0,162, а с меньшим приращением на сторону **54**. Ту же, что и для точек **9**, **6**, хотя не факт, что так же будет в оптимальном маршруте. Минимальное значение приращения из возможных включений точки 3 равно 0,059. Достигается путем включения ее между точками **9,6** (это можно увидеть на рис. 7, ячейка O14). Суммарное приращение от включения точек 9, 6, 3 на сторону между 5 и 4 равно $0,0003 + 0,002 + 0,059 = 0,061$ (кстати, приращение меньше чем у одной точки 3 на сторону между 4 и 1, полученное в ячейке D91). Этот результат зафиксирован в ячейках H120 (величина приращения **0,061**) и H121 (с какими точками получено **639**). Последующее уменьшение верхней границы приращений для текущего (рис. 5) блока на выявленную величину 0,061 позволяет сделать вывод об исключении также и точки **7**, что зафиксировано в ячейках G120 (величина приращения **0,079**) и в G121 (для каких точек получено **7639**).

Важным результатом анализа любого блока является выявление внутренних точек, последующее

включение которых в текущий фрагмент, во-первых, допустимо, во-вторых, допустимо между какими конкретно точками фрагмента.

	A	B	C	D	E	F	G	H
10	5 4		5 4	0				
11		9	5,4	0,000	1			
12			5 9 4	0,000		9,5	9,4	
13			7		1	0,008	2,939	0,008
14			8			0,036	2,903	0,036
15			2		1	0,079	2,724	0,079
16			3		1	0,026	2,302	0,026
17			6	1	1	0,002	2,703	0,002
18			10		1	0,180	2,997	0,180
73	4 1		4 1	0				0,194
74		2	4,1	0,144	1			8769
75			4 2 1	0,144		4,2	2,1	
76			7			0,394	0,508	0,538
77			8	1	1	0,252	0,257	0,396
78			6		1	0,299	0,590	0,443
79			3	1	1	0,039	0,467	0,184
80			9	1	1	0,019	2,632	0,163
81			10	1	1	0,337	0,012	0,157
90			4 1	0				0,019
91		3	4,1	0,162	1			769
92			4 3 1	0,162		4,3	3,1	
93			7	1		0,660	0,347	0,509
94			8	1		0,601	0,179	0,341
95			6	1		0,460	0,323	0,485
96			2	1	1	0,449	0,021	0,184
97			9	1	1	0,007	2,193	0,169
98			10	1	1	0,776	0,024	0,186
102			4 1	0				0,019
103		9	4,1	0,053	1			76
104			4 9 1	0,053		9,4	9,1	
105			7	1		2,939	0,440	0,493
106			8			2,903	0,294	0,347
107			6	1		2,703	0,380	0,433
108			2	1	1	2,724	0,110	0,163
109			3	1	1	2,302	0,116	0,169
110			10	1	1	2,997	0,059	0,112
111			4 1	0				0,019
112		10	4,1	0,071	1			769
113			4 10 1	0,071		10,4	10,1	
114			7		1	0,421	0,860	0,492
115			8		1	0,270	0,599	0,341
116			6		1	0,366	0,981	0,437
117			2	1	1	0,085	0,409	0,157
118			3	1	1	0,115	0,867	0,186
119			9	1	1	0,041	2,979	0,112
120	5 1		5 1	0				0,079 0,061
121		10	5,1	0,034	1			7639 639
122			5 10 1	0,034		10,5	10,1	
123			7	1	1	0,307	0,860	0,341
124			3		1	0,656	0,867	0,690
125			6		1	0,482	0,981	0,516
126			2	1	1	0,257	0,409	0,292
127			9		1	2,858	2,979	2,893
128			8	1	1	0,220	0,599	0,255

Рис. 6. Уровень «1к1» (одна точка на сторону выпуклого многоугольника)

Так анализ рассмотренного блока (рис. 5) выявил, что допустимо включение в рассматриваемый фрагмент только точек **2** и **8**, причем лишь между точками **10,5**, с приращением соответственно **0,257** и **0,220** (эти ячейки выделены для наглядности более яркой заливкой). То есть отсюда (от данного блока уровня «1к1») будет сформировано только два соответствующих блока уровня «2к1»

Целесообразно обратить внимание на первый из сформированных блоков на рис. 6 с началом в ячейке B10. Здесь только одна точка **6** может быть включена в текущий фрагмент пути **5 9 4** между точками **9,5** (величина приращения при этом **0,002**). Оставшиеся точки **7 8 2 3 10** не могут участвовать в формировании блоков уровня «2к1» из текущего блока, т.к. признак допустимости их включения между точками **9,5** не равен **1** (смотри D13:D18), а значение приращения при включении между точками **9,4** превышает величину верхней границей приращений (смотри G13:G18). Но потенциально их включение возможно на следующем уровне «3к1» и глубже, поэтому при их форматировании для наглядности используется соответствующая заливка.

Нетривиальная ситуация с блоком B102:H110 (рис. 6). Из анализа всех блоков данного уровня следует, что точка 6 не может быть включена ни в один из блоков от сторон **41** и **51** в силу превышения величины верхней границы приращений (тоже относится и к точке 7, но это непосредственно пригодится позднее при синтезе маршрутов). Следовательно, точка 6 обязана быть включена в путь со стороны **54** (это произойдет при построении блока уровня «2к1» на рис. 7, ячейки I11:K13). Но если напрямую построить такое включение между точками 5 и 4, то выяснится, что внутри треугольника с вершинами 5–6–4 находится точка 9. Это означает, что точка 9, при включении ее в путь, базирующийся на стороне **41** (см. блок с началом в ячейке B102), образует фрагмент **4 9 1**, который будет пересекать фрагмент пути от принудительно-обязательного включения точки 6 между **54**, что недопустимо в оптимальном маршруте. Отсюда блок B102:H110 «лишний» — допустимое включение в фрагмент его пути **4 9 1** точек **2 3 10**, не сможет порождать фрагменты оптимального маршрута. Сам же фрагмент **4 9 1** не может являться частью оптимального маршрута еще и по причине того, что точка 9 может включаться так же и на сторону **54**, но с меньшим приращением. Таким образом, у данного **5 9 4** включения точки 9 в отличие от **4 9 1** сохраняется потенциал быть частью оптимального маршрута, что и выделено соответствующей заливкой.

В процессе формирования блоков текущего уровня анализируются имеющиеся фрагменты пути блока (третья строка вторая ячейка от верхнего левого угла блока) на предмет исключения дублирующих-

ся (их появление становится возможным, начиная с уровня «2к1» и глубже). Кроме того, выявляются (и исключаются из последующего синтеза маршрутов) такие фрагменты, которые могут быть подменены совокупностью фрагментов предшествующих уровней, полученных на основе этих же внутренних точек, но с меньшей суммарной величиной приращения.

По завершению формирования всех фрагментов уровня, выявляется среди фрагментов с одинаковым набором точек (сформированных от одной стороны, но с разным порядком следования внутренних точек) тот, у которого наименьшее приращение. Далее выявляется среди фрагментов с одинаковым набором внутренних точек (но сформированных от разных сторон выпуклого многоугольника) фрагмент, имеющий наименьшее приращение. Такие выявленные фрагменты соответственно помечаются и участвуют впоследствии в синтезе маршрута, претендующего на оптимальность.

На рис. 7 к блокам уровня «1к1» добавляются соответствующие блоки уровня «2к1» (их начало в столбце I:I). Они размещаются относительно блоков предшествующего уровня со сдвигом на строку вниз.

Фрагменты, отформатированные с использованием заливки , например, **5 9 4** (ячейка C12) или **4 32 1** (ячейка J76) могут участвовать в синтезе маршрутов. Фрагменты  заливкой, например, **4 9 1** или **4 5 10 1**, не участвуют в синтезе (так как и у точки 9 и у пары точек 2 10 выявлены другие включения с меньшими приращениями — **5 9 4** и **4 2 10 1** соответственно). Разметка типа  указывает на дублирующий фрагмент, например, **4 32 1** (ячейка J93) дублирует **4 32 1** (ячейка J76). Из него не будут строиться фрагменты следующего уровня. Отметим, что фрагменты ранее рассмотренных типов тоже могут приводить к прекращению построений фрагментов следующего уровня. Это тогда, когда все номера внутренних точек, не включенных еще в путь фрагмента, оказались помеченными заливкой (разметкой типа  или ) , например, блоки уровня «2к1» с началом (левый верхний угол блока) в ячейках I121 и I129 на рис. 7.

В рассматриваемом примере синтез маршрута можно осуществить, только начиная с уровня «3к1», где появляются включения 3 точки на сторону. Хотя бы одно такое включение нужно для синтеза всего маршрута, так как имеем 3 стороны многоугольника и 7 внутренних точек.

Перейдем к рис. 8, из которого видно, что фрагментами оптимального маршрута могут быть только **5 769 4** (ячейка S46) и **4 32 10 1** (ячейка S77). Другие либо дублирующие (как ячейка S85 **4 32 10 1**), либо большие по величине приращения среди содержащих те же точки (как ячейка S68 **5 679 4**) из за иного порядка расположения.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
10	5 4	5 4	0															
11		9 5,4	0,000	1						5 9 4	0,000						0,034	
12		5 9 4	0,000		9,5	9,4				6 9,5	0,002	1					10	
13		7		1	0,008	2,939	0,008			5 6 9 4	0,002		=	5,5	9,6	9,4		
14		8			0,036	2,903	0,036			3		1	1	0,477	0,059	2,302	0,061	
15		2		1	0,079	2,724	0,079			2			1	0,357	0,320	2,724	0,322	
16		3		1	0,026	2,302	0,026			8		1		0,137	0,310	2,903	0,139	
17		6	1	1	0,002	2,703	0,002			7	1	1	1	0,017	0,249	2,939	0,019	
18		10		1	0,180	2,997	0,180			10			1	0,503	0,660	2,997	0,505	
73	4 1	4 1	0					0,194										
74		2 4,1	0,144	1				0,765		4 2 1	0,144						0,194	
75		4 2 1	0,144		4,2	2,1				3 4,2	0,039	1					0,765	
76		7			0,394	0,508	0,538			4 3 2 1	0,184		0,31	4,3	3,2	2,1		
77		8	1	1	0,252	0,257	0,396			7	1	1		0,660	0,372	0,508	0,555	
78		6		1	0,299	0,590	0,443			6	1	1	1	0,460	0,312	0,590	0,496	
79		3	1	1	0,039	0,467	0,184			8	1	1	1	0,601	0,213	0,257	0,396	
80		9	1	1	0,019	2,632	0,163			9	1	1	1	0,007	2,281	2,632	0,190	
81		10	1	1	0,337	0,012	0,157			10	1	1	1	0,776	0,412	0,012	0,196	
82										4 2 1	0,144						0,194	
83									10 2,1	0,01	1						0,765	
84										4 2 10 1	0,157		0,18	4,2	10,2	10,1		
85										7			1	0,394	0,496	0,860	0,551	
86										6		1	1	0,299	0,581	0,981	0,455	
87										9	1	1	1	0,019	2,679	2,979	0,175	
88										3	1	1	1	0,039	0,479	0,867	0,196	
89										8	1	1	1	0,252	0,245	0,599	0,402	
90		4 1	0					0,019										
91		3 4,1	0,162	1				0,765		4 3 1	0,162							
92		4 3 1	0,162		4,3	3,1				3,1	0,02							
93		7	1		0,660	0,347	0,509			4 3 2 1	0,184							
94		8	1		0,601	0,179	0,341			4 3 1	0,162						0,019	
95		6	1		0,460	0,323	0,485			10 3,1	0,02	1					0,765	
96		2	1	1	0,449	0,021	0,184			4 3 10 1	0,186		0,20	4,3	10,3	10,1		
97		9	1	1	0,007	2,193	0,169			7	1		1	0,660	0,323	0,860	0,509	
98		10	1	1	0,776	0,024	0,186			6	1		1	0,460	0,303	0,981	0,489	
99										8	1		1	0,601	0,155	0,599	0,342	
100										2	1	1	1	0,449	0,010	0,409	0,196	
101										9	1	1	1	0,007	2,228	2,979	0,193	
102		4 1	0					0,019										
103		9 4,1	0,053	1				0,76										
104		4 9 1	0,053		9,4	9,1												
105		7	1		2,939	0,440	0,493											
106		8			2,903	0,294	0,347											
107		6	1		2,703	0,380	0,433											
108		2	1	1	2,724	0,110	0,163											
109		3	1	1	2,302	0,116	0,169											
110		10	1	1	2,997	0,059	0,112											
111		4 1	0					0,019										
112		10 4,1	0,071	1				0,765		4 10 1	0,071							
113		4 10 1	0,071		10,4	10,1				10,4	0,09							
114		7		1	0,421	0,860	0,492			4 2 10 1	0,157							
115		8		1	0,270	0,599	0,341			4 10 1	0,071							
116		6		1	0,366	0,981	0,437			10,4	0,12							
117		2	1	1	0,085	0,409	0,157			4 3 10 1	0,186							
118		3	1	1	0,115	0,867	0,186											
119		9	1	1	0,041	2,979	0,112											
120	5 1	5 1	0					0,079	0,061									
121		10 5,1	0,034	1				0,765	635	5 10 1	0,034					0,079	0,061	
122		5 10 1	0,034		10,5	10,1				2 10,5	0,26	1				0,765	635	
123		7	1	1	0,307	0,860	0,341			5 2 10 1	0,292		=	5,2	10,2	10,1		
124		3		1	0,656	0,867	0,690			7			1	0,108	0,496	0,860	0,399	
125		6		1	0,482	0,981	0,516			6		1	1	0,243	0,581	0,981	0,535	
126		2	1	1	0,257	0,409	0,292			3		1	1	0,408	0,479	0,867	0,700	
127		9		1	2,858	2,979	2,893			9		1	1	2,664	2,679	2,979	2,955	
128		8	1	1	0,220	0,599	0,255			8	1	1	1	0,030	0,245	0,599	0,322	
129										5 10 1	0,034						0,079	0,061
130										8 10,5	0,22	1					0,765	635
131										5 8 10 1	0,255		=	8,5	10,8	10,1		
132										7	1	1	1	0,088	0,261	0,860	0,343	
133										6		1	1	0,275	0,398	0,981	0,530	
134										3	1		1	0,591	0,446	0,867	0,701	
135										9			1	2,874	2,674	2,979	2,929	
136										2	1	1	1	0,282	0,067	0,409	0,322	

Рис. 7. Дополнение уровнем «2к1»

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	
9		1 к 1			1-призн вставки				мин об	2 к 1								3 к 1											
10	5 4		5 4	0																									
11		9 5,4	0,000	1																									
12		5 9 4	0,000		9,5	9,4				5 9 4	0,000							0,034											
13		7			0,008	2,939	0,008			5 6 9 4	0,002	1		6,5	9,6	9,4		10	5 6 9 4	0,002							0,157	0,034	
14		8			0,036	2,903	0,036			3		1	1	0,477	0,059	2,302	0,061		5 6 8 9 4	0,311				6,5	8,6	9,8	9,4		
15		2		1	0,079	2,724	0,079			2		1	1	0,357	0,320	2,724	0,322		3		1	1	1	0,477	0,351	0,000	2,302	0,312	
16		3		1	0,026	2,302	0,026			8		1	1	0,137	0,310	2,903	0,139		2		1	1	1	0,357	0,250	0,072	2,724	0,384	
17		6	1	1	0,002	2,703	0,002			7	1	1	1	0,017	0,249	2,939	0,019		7	1	1	1	1	0,017	0,056	0,147	2,939	0,329	
18		10		1	0,180	2,997	0,180			10		1	1	0,503	0,660	2,997	0,505		10		1	1	1	0,503	0,587	0,364	2,997	0,676	
19																			5 6 9 4	0,002							0,034		
20																			3 9,6	0,059	1						10,2	10	
21																			5 6 3 9 4	0,061				6,5	6,3	9,3	9,4		
22																			8		1	1	1	0,137	0,250	0,601	2,903	0,198	
23																			2		1	1	1	0,357	0,288	0,461	2,724	0,349	
24																			7	1	1	1	1	0,017	0,212	0,654	2,939	0,079	
25																			10			1	1	0,503	0,682	0,810	2,997	0,564	
44																			5 6 9 4	0,002							0,034		
45																			7 6,5	0,0	1						10,2	10	
46																			5 7 6 9 4	0,019				7,5	7,6	9,6	9,4		
47																			8	1	1	1	1	0,175	0,207	0,310	2,903	0,194	
48																			2		1	1	1	0,447	0,447	0,320	2,724	0,339	
49																			3	1	1	1	1	0,672	0,465	0,059	2,302	0,079	
50																			10	1		1	1	0,553	0,793	0,660	2,997	0,573	
66																			5 6 9 4	0,002							0,157	0,034	
67																			7 9,6	0,2	1						10,2	10	
68																			5 6 7 9 4	0,251				6,5	7,6	9,7	9,4		
69																			8		1	1	1	0,137	0,207	0,116	2,903	0,367	
70																			2		1	1	1	0,357	0,447	0,178	2,724	0,429	
71																			3		1	1	1	0,477	0,465	0,023	2,302	0,273	
72																			10			1	1	0,503	0,793	0,479	2,997	0,730	
73	4 1		4 1	0																									
74		2 4,1	0,144	1						4 2 1	0,144									4 3 2 1	0,184							0,194	
75		4 2 1	0,144		4,2	2,1				3 4,2	0,039	1								10 2,1	0,0	1						8769	
76		7			0,394	0,508	0,538			4 3 2 1	0,184		0,31	4,3	3,2	2,1				4 3 2 1 0 1	0,196		0,218		4,3	3,2	10,2	10,1	
77		8	1	1	0,252	0,257	0,396			7	1	1	1	0,660	0,372	0,508	0,555		10 2,1	0,0	1								
78		6		1	0,299	0,590	0,443			6	1	1	1	0,460	0,312	0,590	0,496		7	1	1	1	1	0,660	0,372	0,496	0,660	0,568	
79		3	1	1	0,039	0,467	0,184			8	1	1	1	0,601	0,213	0,257	0,396		9	1	1	1	1	0,007	2,281	2,679	2,979	0,203	
80		9	1	1	0,019	2,632	0,163			9	1	1	1	0,007	2,281	2,632	0,190		6	1	1	1	1	0,460	0,312	0,581	0,981	0,508	
81		10	1	1	0,337	0,012	0,157			10	1	1	1	0,776	0,412	0,012	0,196		8	1	1	1	1	0,601	0,213	0,245	0,599	0,409	
82										4 2 1	0,144																		
83										10 2,1	0,01	1								4 2 10 1	0,157								
84										4 2 10 1	0,157		0,18	4,2	10,2	10,1				4,2		0,0							
85										7		1	1	0,394	0,496	0,860	0,551		4 3 2 10 1	0,196									
86										6		1	1	0,299	0,581	0,981	0,455												
87										9	1	1	1	0,019	2,679	2,979	0,175												
88										3	1	1	1	0,039	0,479	0,867	0,196												
89										8	1	1	1	0,252	0,245	0,599	0,402												
90																													
91		3 4,1	0,162	1						4 3 1	0,162																		
92		4 3 1	0,162		4,3	3,1				3,1	0,02																		
93		7	1		0,660	0,347	0,509			4 3 2 1	0,184																		
94		8	1		0,601	0,179	0,341			4 3 1	0,162																		
95		6	1		0,460	0,323	0,485			10 3,1	0,02	1																	
96		2	1	1	0,449	0,021	0,184			4 3 10 1	0,186		0,20	4,3	10,3	10,1													
97		9	1	1	0,007	2,193	0,169			7	1	1	1	0,660	0,323	0,860	0,509		4 3 10 1	0,186									
98		10	1	1	0,776	0,024	0,186			6	1	1	1	0,460	0,303	0,981	0,489		4 3 2 10 1	0,196									
99										8	1	1	1	0,601	0,155	0,599	0,342												
100										2	1	1	1	0,449	0,010	0,409	0,196												
101										9	1	1	1	0,007	2,228	2,979	0,193												

Рис. 8 Построение блоков уровня «3к1»

Фрагменты **5 6 8 9 4** (ячейка S14) и **5 6 3 9 4** (ячейка S21) формально имеют потенциал быть частью оптимального маршрута (в силу уникальности набора точек и не превышения верхней границы). Но исключены из синтеза (с соответствующим выделением), так как при анализе на уровне «1к1» выяснилось, что фрагмент оптимального пути, построенный между точками **5 4**, обязательно должен включать точки 6 и 7. Здесь же точка 7 отсутствует в данных фрагментах. Первый синтезируемый маршрут 1–10–8–5–7–6–9–4–3–2–1 (сумма из **5 7 6 9 4**, **4 3 2 1** (рис. 8, ячейка S46 и J76) и **5 8 10 4** (рис. 7, ячейка J131)) имеет приращение: **0,019** + **0,184** + **0,255** = 0,458 (см. рис. 10 ячейка R134). Это больше верхней границы, равной 0,390, поэтому он не претендует на оптимальность и не может улучшить верхнюю границу приращений. Маршрут на основе второго фрагмента из уровня «3к1» **4 3 2 10 1** (рис. 8, ячейка S77) и фрагментов меньших уровней не строится, так как необходимая для «посещения» точка 8 встречается среди них только один раз

5 8 10 1 (рис. 7 ячейка J131) и при этом содержит точку 10, которая уже «посещена» в **4 3 2 10 1**.

Но все же можно найти оптимальный маршрут уже на этой стадии путем объединения **4 3 2 10 1** и **5 7 6 9 4**, где пока не хватает точки 8, включение которой между точками 7 и 5 однозначно определяется минимальной величиной **0,175** приращения в блоке (рис. 8 ячейка X47) и невозможностью включения ее с меньшим приращением в допустимые фрагменты других блоков. Но подобное исследование трудно автоматизируемо, поэтому обратимся к рис. 9, который иллюстрирует дальнейшее построение блоков уровня «4к1» из соответствующих фрагментов блоков уровня «3к1».

Все фрагменты уровня «4к1» (с началом в столбце AC:AC) построены и присутствуют на рис. 9.

Дальнейшее построение из них блоков уровня «5к1» уже не имеет смысла. Любая из внутренних точек (еще не включенных в каждый из фрагментов) приведет при ее включении к превышению верхней границы приращений для любого из этих новых блоков.

Таким образом, оптимальный маршрут выявится при синтезе фрагмента **5 7639 4** (рис. 9, ячейка AD34) либо **5 8769 4** (рис. 9, ячейка AD47) с подходящими фрагментами предшествующих уровней. Следует обратить внимание на особую ситуацию: **5 6239 4** (рис. 9, ячейка AD28) не участвует в синтезе, несмотря на не превышение верхней границы приращений ($0,349 < 0,390$) и на несовпадение с другими фрагментами уровня. Это произошло потому, что ее внутренние точки (6, 2, 3, 9) дают меньшее суммарное приращение 0,186 ($0,186 < 0,349$) при их включении во фрагменты предшествующих уровней **5 69 4** (рис. 8, ячейка J13) и **4 32 1** (рис. 8, ячейка J76). Это зафиксировано на рис. 9 в ячейках AF28, AG28 (правее указания на путь текущего фрагмента и его приращение: **5 6239 4** **0,349** **69+32** **0,186**).

Объединение фрагментов **5 7639 4** + **5 8 10 1** + **4 2 1** дает приращение 0,477 (рис. 10 ячейка AC134), что превышает верхнюю границу. Фрагменты **5 8769 4** + **4 32 10 1** дают приращение 0,390 (рис. 10 ячейка AC135), что совпадает с верхней границей приращений. Так как других вариантов синтеза больше нет, то последняя комбинация и определяет оптимальный маршрут: 1–5–8–7–6–9–4–3–2–10–1 длиной 9,591 у. е. (приращение плюс периметр треугольника).

На рис. 10 представлена для целостного восприятия общая схема приведенных поуровневых построений уже без детализации операций анализа в каждом из блоков и без указания на дублирующиеся блоки. Стрелками отмечены фрагменты, из которых синтезирован оптимальный маршрут с величиной приращения 0,390 (ячейка AC135).

	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO
9	3 к 1											4 к 1												
12		5 69 4	0,002								0,157	0,034												
13	8	9,6	0,31	1 =							10,2	10												
14		5 689 4	0,311	=	=		6,5	8,6	9,8	9,4														
15		3		1	1	1	0,477	0,351	0,000	2,302	0,312													
16		2		1		1	0,357	0,250	0,072	2,724	0,384													
17		7	1	1	1	1	0,017	0,056	0,147	2,939	0,329													
18		10		1		1	0,503	0,587	0,364	2,997	0,676													
19		5 69 4	0,002								0,034													
20	3	9,6	0,059	1 =							10	5 639 4	0,061								0,157	0,034		
21		5 639 4	0,061	0,164	=		6,5	6,3	9,3	9,4		8	6,3	0,250	1 ?				6,5	8,6	8,3	9,3	9,4	10
22		8		1	1	1	0,137	0,250	0,601	2,903	0,198		5 6839 4	0,312	0,474									
23		2		1	1	1	0,357	0,288	0,461	2,724	0,349		2		1	1	1	1	0,357	0,250	0,100	0,461	2,724	0,411
24		7	1	1	1	1	0,017	0,212	0,654	2,939	0,079		7	1	1	1	1	1	0,017	0,056	0,169	0,654	2,939	0,329
25		10		1	1	1	0,503	0,682	0,810	2,997	0,564		10		1		1	1	0,503	0,587	0,445	0,810	2,997	0,757
26													5 639 4	0,061								0,255	0,034	
27		2	6,3										2	6,3	0,288	1 ?						10,8	10	
28			5 6239 4	0,349	69+32	0,186	0,205						5 6239 4	0,349	69+32	0,186	0,205		6,5	6,2	9,2	9,3	9,4	
29		8											8		1	1	1	1	0,137	0,062	0,213	0,601	2,903	0,411
30		7	1										7	1	1	1	1	1	0,017	0,107	0,372	0,654	2,939	0,367
31		10											10		1	1	1	1	0,503	0,403	0,412	0,810	2,997	0,752
32													5 639 4	0,061								0,157	0,034	
33		7	6,5	0,017									7	6,5	0,017	1 ?						10,2	10	
34			5 7639 4	0,079									5 7639 4	0,079		0,182			7,5	7,6	6,3	9,3	9,4	
35		8		1	1	1	1	1	1	1	0,175	0,207	0,250	0,601	2,903	0,253								
36		2											2		1	1	1	1	0,447	0,447	0,288	0,461	2,724	0,367
37		10		1									10	1			1	1	0,553	0,793	0,682	0,810	2,997	0,632
38													5 639 4	0,061								0,157	0,034	
39		7	6,3	0,212									7	6,3	0,212	1 ?						10,2	10	
40			5 6739 4	0,273									5 6739 4	0,273					6,5	7,6	7,3	9,3	9,4	
41		8											8		1	1	1	1	0,137	0,207	0,094	0,601	2,903	0,367
42		2											2		1	1	1	1	0,357	0,447	0,183	0,461	2,724	0,456
43		10											10				1	1	0,503	0,793	0,537	0,810	2,997	0,776
44		5 69 4	0,002								0,034													
45	7	6,5	0,0	1 =							10	5 769 4	0,019									0,157	0,034	
46		5 769 4	0,019	=	=		7,5	7,6	9,6	9,4		8	7,5	0,175	1 ?							10,2	10	
47		8	1	1	1		0,175	0,207	0,310	2,903	0,194		5 8769 4	0,194	=				8,5	8,7	7,6	9,6	9,4	
48		2		1			0,447	0,447	0,320	2,724	0,339		3	1	1	1	1	1	0,591	0,508	0,465	0,059	2,302	0,253
49		3	1	1	1	1	0,672	0,465	0,059	2,302	0,079		2	1	1	1	1	1	0,282	0,302	0,447	0,320	2,724	0,477
50		10		1		1	0,553	0,793	0,660	2,997	0,573		10	1	1			1	0,380	0,599	0,793	0,660	2,997	0,574
51													5 769 4	0,019								0,157	0,034	
52		8	7,6	0,207									8	7,6	0,207	1 ?						10,2	10	
53			5 7869 4	0,227	=								5 7869 4	0,227	=				7,5	8,7	8,6	9,6	9,4	
54		3	1	1	1	1	0,672	0,508	0,351	0,059	2,302	0,286		3	1	1	1	1	0,672	0,508	0,351	0,059	2,302	0,286
55		2		1	1	1	0,447	0,302	0,250	0,320	2,724	0,477		2		1	1	1	0,447	0,302	0,250	0,320	2,724	0,477
56		10		1	1	1	0,553	0,599	0,587	0,660	2,997	0,780		10	1	1	1	1	0,553	0,599	0,587	0,660	2,997	0,780
57													5 769 4	0,019								0,157	0,034	
58		8	9,6	0,310									8	9,6	0,310	1 ?						10,2	10	
59			5 7689 4	0,329									5 7689 4	0,329					7,5	7,6	8,6	9,8	9,4	
60		3	1				0,672	0,465	0,351	0,000	2,302	0,329		3	1	1	1	1	0,672	0,465	0,351	0,000	2,302	0,329
61		2					0,447	0,447	0,250	0,072	2,724	0,401		2		1	1	1	0,447	0,447	0,250	0,072	2,724	0,401
62		10		1			0,553	0,793	0,587	0,364	2,997	0,693		10	1			1	0,553	0,793	0,587	0,364	2,997	0,693
63													5 769 4	0,019										
64		9,6	0,059										9,6	0,059										
65		5 7639 4	0,079										5 7639 4	0,079										

Рис. 9 Построение блоков уровня «4к1»

	A	B	C	D	I	J	K	R	S	T	AC	AD	AE	AP
9		1 к 1			2 к 1			3 к 1			4 к 1			5 к 1
10	5 4	5 4	0											
11		9 5,4	0,0003		5 9 4	0,0003								
12		5 9 4	0,0003		6 9,5	0,002		5 6 9 4	0,002					
13					5 6 9 4	0,002		8 9,6	0,31					
14								5 6 8 9 4	0,311					
19								5 6 9 4	0,00195					
20								3 9,6	0,059		5 6 3 9 4	0,061		
21								5 6 3 9 4	0,061		8 6,3	0,250		
22											5 6 8 3 9 4	0,312		
26											5 6 3 9 4	0,061		
27											2 6,3	0,288		
28											5 6 2 3 9 4	0,349		
32											5 6 3 9 4	0,061		
33											7 6,5	0,017		
34											5 7 6 3 9 4	0,079		
38											5 6 3 9 4	0,061		
39											7 6,3	0,212		
40											5 6 7 3 9 4	0,273		
44								5 6 9 4	0,00195					
45								7 6,5	0,0		5 7 6 9 4	0,019		
46								5 7 6 9 4	0,019		8 7,5	0,175		
47											5 8 7 6 9 4	0,194		
51											5 7 6 9 4	0,019		
52											8 7,6	0,207		
53											5 7 8 6 9 4	0,227		
57											5 7 6 9 4	0,019		
58											8 9,6	0,310		
59											5 7 6 8 9 4	0,329		
66								5 6 9 4	0,00195					
67								7 9,6	0,2					
68								5 6 7 9 4	0,251					
73	4 1	4 1	0											
74		2 4,1	0,144		4 2 1	0,144								
75		4 2 1	0,144		3 4,2	0,039		4 3 2 1	0,18361					
76					4 3 2 1	0,184		10 2,1	0,0					
77								4 3 2 10 1	0,196					
82					4 2 1	0,144								
83					10 2,1	0,01								
84					4 2 10 1	0,157								
90		4 1	0											
91		3 4,1	0,162		4 3 1	0,162								
92		4 3 1	0,162		10 3,1	0,02								
93					4 3 10 1	0,186								
102		4 1	0											
103		9 4,1	0,053											
104		4 9 1	0,053											
111		4 1	0											
112		10 4,1	0,071											
113		4 10 1	0,071											
120	5 1	5 1	0											
121		10 5,1	0,034		5 10 1	0,034								
122		5 10 1	0,034		2 10,5	0,26								
123					5 2 10 1	0,292								
129					5 10 1	0,034								
130					8 10,5	0,22								
131					5 8 10 1	0,255								
132	1 к 1				2 к 1			3 к 1			4 к 1			
133		6			6			5			7	24	операций анализа	
134								T46+K131+K76= 0,458			AE34+K131+D75= 0,477	3	операции синтеза	
135											AE47+T77= 0,390	27	всего операций	

Рис. 10. Общая схема решения (без детализации в блоках)

	A	B	C	D	I	J	K	R	S	T	AC	AD	AE	AF
1	279,1	наименьшее выявленное приращение					4 5 6 10 13 14	внутрен. г.						
2		1 к1			2 к1			3 к1			4 к1			5 к1
3	2 1		2 1	0										
4		4 2,1		142,5										
5		2 4 1		142,5										
11		2 1		0										
12		14 2,1		205,0										
13		2 1 4 1		205,0										
19	3 2		3 2	0										
20		4 3,2		147,9										
21		3 4 2		147,9										
39	7 3		7 3	0										
40		4 7,3		124,2										
41		7 4 3		124,2		7 4 3	124,17							
42					6 7,4		1,3	7 6 4 3	125,52					
43					7 6 4 3	125,5		5 6,4	3,2					
44								7 6 5 4 3	128,7					
48		7 3		0										
49		6 7,3		6,8										
50		7 6 3		6,8		7 6 3	6,7505							
51						6,3	118,8							
52						7 6 4 3	125,5							
53						7 6 3	6,7505							
54						5 6,3	14,9	7 6 5 3	21,7					
55						7 6 5 3	21,7	5,3	107,0					
56								7 6 5 4 3	128,7					
60						7 6 3	6,7505							
61						5 7,6	77,0							
62						7 5 6 3	83,8							
67	8 7		8 7	0										
68		5 8,7		96,5										
69		8 5 7		96,5										
76		8 7		0										
77		6 8,7		28,0										
78		8 6 7		28,0										
96		9 8		0										
97		5 9,8		107,7										
98		9 5 8		107,7										
104		9 8		0										
105		6 9,8		62,2										
106		9 6 8		62,2										
121	11 9		11 9	0										
122		10 11,9		21,6										
123		11 10 9		21,6										
129		11 9		0										
130		5 11,9		123,6										
131		11 5 9		123,6										
137		11 9		0										
138		6 11,9		122,4										
139		11 6 9		122,4										
151		12 11		0										
152		13 12,11		115,7										
153		12 13 11		115,7										
159	15 12		15 12	0										
160		13 15,12		50,8		15 13 12	50,753							
161		15 13 12		50,8		14 15,13	78,0							
162						15 14 13 12	128,8							
167		15 12		0										
168		14 15,12		110,5		15 14 12	110,53							
169		15 14 12		110,5		14,12	18,2							
170						15 14 13 12	128,8							
175	15 1		15 1	0										
176		14 15,1		103,6										
177		15 14 1		103,6										
190	1 к1				2 к1			3 к1			4 к1			
191	31				4			1			0	21	операций анализа	
192	403,4				372,5							4	операции синтеза	
193					296,3							25	всего операций	

Рис. 11. Общая схема решения задачи для 15 городов (без детализации в блоках)

Приведем оценку быстродействия рассматриваемого метода поиска оптимального маршрута. Оценим каждый из этапов решения.

1. Трудоемкость этапа получения и уточнения исходного маршрута (первоначальный критерий) оценивается полиномиальной зависимостью. Достаточно использовать один из простых приближенных методов (с оценкой не выше полинома третьей степени). Для задач большой размерности может быть эффективно также уточнение значения критерия после проведения синтеза маршрутов на каждом из уровней путем перестановки в синтезированном маршруте вершин и несмежных ребер.

2. Трудоемкость анализа (внутри блоковые операции для каждого блока любого из уровней) оценивается также полиномом (при простой реализации не выше полинома четвертой степени). Как показывают исследования, сам рост количества блоков в зависимости от роста количества точек (n) описывается точнее степенной зависимостью ($0,0743n^{2,583}$ показатель степени 2,583; коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9706$), чем экспоненциальной ($0,944e^{0,3317n}$; коэффициент достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9662$), то есть статистически ближе к описанию полиномом 3-й степени. Но это предварительная оценка по выборке из групп с одинаковой размерностью представителей (имеющих наибольшее количество блоков) тестовых примеров. Для более точной оценки необходимо дополнительное проведение численных экспериментов на задачах с большой размерностью.

3. Остается оценить рост числа операций синтеза маршрутов от роста количества точек. Результаты тестирования показывают, что количество таких операций существенно меньше, чем общее число блоковых операций анализа. Но сам их рост в зависимости от роста числа точек трудно оценить, из-за стохастического влияния взаимного расположения точек. На использованных тестовых примерах с произвольным расположением точек он несущественный, но не исключается возможность заметного роста числа операций синтеза для задач большой размерности со специально подобранным специфическим расположением точек.

В текущем примере (рис. 10) с размерностью 10 городов синтезируется всего три маршрута. В следующем примере с размерностью 15 городов (рис. 11, который демонстрирует, прежде всего, скорость достижения результата при использовании рассматриваемого метода) синтезируется четыре маршрута.

Если на практике возникнет значительное количество блоков, участвующих в синтезе, то предлагается проводить дополнительный анализ, который поможет также поуровнево исключать содержащиеся в них фрагменты пути из претендентов на вхождение в оптимальный маршрут. Такое усовершенствование метода поуровневых исключений, кратко изложенного в [3], позволяет снять остроту неопределенности роста числа синтезируемых блоков. Основная задача

при этом – выявить среди фрагментов (помеченных соответствующей  заливкой, то есть претендующих на вхождение в оптимальный маршрут) заведомо неперспективные для синтеза фрагменты.

Данный анализ целесообразно проводить по завершению формирования каждого из уровней. Для любого потенциально синтезируемого блока делается предположение, что он является частью оптимального маршрута. Это означает, что не входящие в него внутренние точки выпуклого многоугольника должны быть включены в иные фрагменты пути, построенные от других пар смежных вершин многоугольника. При этом определяются минимальные из приращений от таких теоретических включений. Если они вместе с приращением анализируемого фрагмента в сумме превысят верхнюю границу приращений, то анализируемый фрагмент точно не является частью оптимального маршрута и следовательно исключается из операций синтеза.

Проанализируем первый из полученных фрагментов уровня «1к1» (рис. 6 ячейка С12). Если предположить что он может быть частью оптимального маршрута, то любая из внутренних точек выпуклого многоугольника, отличная от 9, должна быть включена в фрагмент пути, построенный между другими смежными вершинами многоугольника (вершинами 4 и 1 либо 5 и 1), и при этом суммарное приращение всех фрагментов не должно превысить верхнюю границу приращений. Однако уже только для одной точки с номером 6 попытка встроить ее в путь между вершинами 4 и 1 (даже без учета необходимой допустимости такого включения) дает приращение 0,433. Аналогичная попытка встраивания ее между вершинами 5 и 1 дает приращение 0,512. И то и другое приращение превышает верхнюю границу приращений. Это означает, что рассматриваемый фрагмент пути 5-9-1 не может быть в чистом виде частью оптимального маршрута. Более того, точка 6 в оптимальном маршруте обязательно должна присутствовать, в фрагменте пути между вершинами 5 и 4 и никоим образом не может быть где бы то ни было между вершинами 4 и 1 либо 5 и 1.

Второй фрагмент уровня «1к1» (рис. 6, ячейка С75) также не может быть частью оптимального маршрута, так как в содержащем его блоке В73:Н81 выявлено, что приращение от включения точки 2 в путь между 4 и 1 равно 0,144. При этом точки 8, 7, 6, 9 (которые не могут быть встроены в путь между 4 и 1 без потери свойства данного фрагмента пути потенциально быть частью оптимального маршрута) могут быть встроены с гарантировано минимальным общим приращением величиной 0,194 между смежными вершинами 5 и 4. Остается пристроить точки 3 и 10 за пределы фрагмента 4–2–1. Даже если ограничиться лишь точкой 3, то выясняется, что гипотетическое встраивание ее между вершинами 5 и 1 (несмотря на отсутствие признака допустимости) дает приращение 0,666, что уже больше верхней границы приращений, а оставшийся вариант встраивания ее в фрагмент пути

между 5 и 4 дает минимальное из возможных приращений (при встраивании между точками 9 и 6) величиной 0,059, что в сумме превысит верхнюю границу ($0,144 + 0,194 + 0,059 = 0,397$). Аналогичным образом можно определить, что ни один из фрагментов уровня «1к1» не является фрагментом оптимального маршрута.

Первый из полученных фрагментов 5–6–9–4 уровня «2к1» (рис. 7, ячейка J13) не может являться частью оптимального маршрута в силу отсутствия в нем точки 7, как уже выяснилось ранее — это необходимое условие вхождения в оптимальный маршрут фрагмента между вершинами 5 и 4.

Второй фрагмент уровня «2к1» (рис. 7, ячейка J76), который реально участвовал в синтезе фрагментов, претендентов на включение в оптимальный маршрут (рис. 10, ячейка R134), в самом деле таковым не является. Попытка пристроить не входящую в него точку 10 как в путь между вершинами 5 и 1, так и между вершинами 5 и 4 приводит обоим случаям к превышению величины верхней границы приращений.

Дальнейший анализ, при его полном проведении, исключает все фрагменты этого и последующих уровней, кроме реально входящих в оптимальный маршрут. Полная тщательная выбраковка сложна для автоматизации, на практике достаточно варианта ее упрощенной реализации.

Итак, еще один пример. На рис. 12 условно показано взаимное расположение 15 крупнейших немецких городов. Требуется найти для них оптимальный маршрут обхода.

На рис. 11 — общая схема решения с условным графическим указанием взаимного расположения городов, и порядка оптимального обхода.

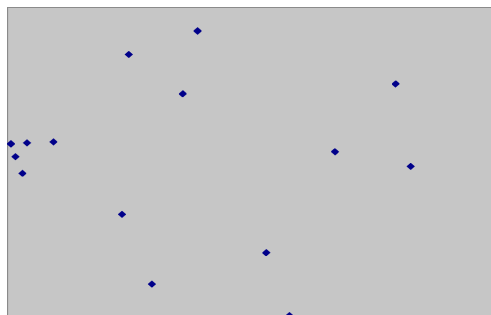


Рис. 12. Относительное расположение городов на плоскости

Здесь фрагменты оптимального маршрута, встраиваемые в выпуклый многоугольник, выделены вместе с приращениями стрелками. Они определяются с помощью 21-й операции анализа (по количеству анализируемых блоков) и 4-х операций синтеза маршрута.

Для сравнения, при произвольном добавлении к имеющимся городам еще двух (итого 17 городов) оптимальный маршрут находится при увеличении менее чем в два раза количества операций анализа, притом же количестве выполненных операций синтеза.

Последний пример демонстрирует высокую скорость получения результата относительно других методов. Предложенный метод, даже реализованный практически в ручном режиме — частичная автоматизация расчета в блоках в рамках инструментария электронных таблиц, позволяет существенно сократить процесс решения реальных задач ограниченной размерности со случайным распределением объектов обработки. Более того, с большой долей вероятности можно утверждать, что для примеров, координаты точек которых задаются без явно выраженных закономерностей распределения, близких к заданию случайным образом, предложенный метод может иметь полиномиальную вычислительную сложность. Чтобы проверить это утверждение, необходимо оценить зависимость фактического роста числа блоков (фрагментов) от числа объектов, для чего необходимо проведение расчетов на тестах адекватных реальным примерам с большой размерностью.

Библиографический список

1. Гиндуллин, Р. В. Оптимизация маршрута доставки однородного груза от множества производителей множеству потребителей : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 05.13.01 / Р. В. Гиндуллин. Уфа, 2013. 147 с.
2. Кочетов, А. Ю. Вычислительные возможности локального поиска в комбинаторной оптимизации / Ю. А. Кочетов // Журн. вычисл. математики и мат. физики. 2008. № 5(48). С. 788–807.
3. Старостин, Н. Д. Метод поуровневых исключений для оптимизации перемещений инструмента / Н. Д. Старостин // Интеллектуальные технологии обработки информации и управления : сб. материалов Второй Междунар. конф. Уфа, 2014. (Препринт).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПРАВОЧНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ СКОРОСТИ РАБОЧИХ ПЕРЕХОДОВ ИНСТРУМЕНТА В ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТА ИНСТРУМЕНТА

Рассматривается вопрос определения поправочных коэффициентов для скорости рабочих переходов инструмента в целевой функции для задач оптимизации маршрута инструмента машин с числовым программным управлением. Исследования проводились для лазерного комплекса ByStar 3015. Приведены полученные значения поправочных коэффициентов и логарифмические зависимости скорости рабочих переходов инструмента от количества кадров в управляющей программе, длины прямого реза.

Введение. Машины термической резки с числовым программным управлением (ЧПУ) работают по управляющим программам (УП). Разработку УП производят в системах автоматизированного проектирования. При разработке УП для машин термической резки пользуются эмпирическими правилами. Выбирают точки врезки, порядок вырезаемых контуров, определяют траекторию перемещения инструмента. При разработке УП возникают задачи оптимизации маршрута инструмента [1]. В качестве критериев оптимизации в этих задачах рассматриваются параметры времени листовой резки t_{cut} и стоимости резки F_{cost} [2]:

$$t_{cut} = \frac{L_{off}}{V_{off}} + \frac{L_p}{V_p} + Nt_{вр}, \quad (1)$$

$$F_{cost} = L_{off}C_{off} + L_pC_p + NC_{вр}, \quad (2)$$

где L_{off} — длина холостых переходов инструмента;
 V_{off} — скорость холостого хода;
 L_p — длина рабочих перемещений инструмента;
 V_p — скорость рабочего хода; N — число точек врезки;

$t_{вр}$ — время, необходимое на одну точку врезки;
 C_{off} — стоимость единицы пути с выключенным режущим инструментом;

C_p — стоимость единицы пути с включенным режущим инструментом;

$C_{вр}$ — стоимость одной точки врезки.

В целевой функции задачи оптимизации маршрута инструмента принято, что скорость рабочего хода инструмента постоянна. В данной работе проводится исследование для определения изменения скорости обработки в зависимости от конфигурации вырезаемых контуров для лазерного комплекса ByStar 3015 и количества кадров в УП; вводятся поправочные коэффициенты для скорости рабочего хода в целевой функции задачи оптимизации маршрута инструмента. В разделе «Зависимость скорости обработки от длины прямого реза» рассматривается изменение скорости обработки в зависимости от того много/мало мелких/крупных контуров. В разделе «Изменение скорости рабочих переходов инструмента в зависимости от длины реза и радиуса скруглений прямых

углов» рассматривается изменение скорости резки в зависимости от длины реза и радиуса скруглений прямых углов (рис. 1). Основные результаты, полученные в данной работе, приведены в заключении.

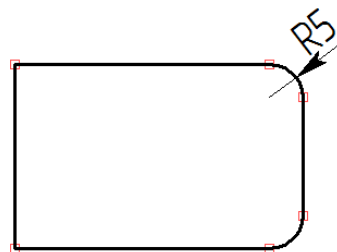


Рис. 1. Пример заготовки с прямым углом и со скруглением прямого угла

2. Зависимость скорости обработки от длины прямого реза. Для определения изменения скорости обработки в зависимости от количества мелких/крупных контуров были рассмотрены заготовки типа прямоугольник с различными габаритными размерами. Было предложено выделить 10 групп прямоугольников с различными размерами (по возрастанию габаритного размера) и в каждой группе выделялось еще 10 групп (x, y — стороны прямоугольника, $10 \leq x \leq 1200$, $10 \leq y \leq 3000$). Далее были разработаны карты раскроя для лазерного комплекса ByStar 3015. Используя post-processing, были получены значения скорости в зависимости от длины прямого реза, от количества крупных/мелких деталей в плане, от количества кадров в УП. Из полученных результатов можно заметить, что скорость рабочего хода изменяется в зависимости от этих параметров. Так, на рис. 2 можно заметить изменение скорости резки от количества кадров в УП. С увеличением количества кадров скорость обработки значительно сокращается (особенно это видно для АМгЗМ, $t = 1$ мм).

В результате аппроксимации полученных результатов были получены зависимости скорости рабочих перемещений инструмента от количества кадров n для сплава алюминия, толщиной 1, 2, 3 и 5 мм. Например, для АМгЗМ толщиной 1 мм зависимость имеет следующий вид:

$$V_p = -0,017 \cdot \ln(n) + 0,1725 \quad (3)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9882$.

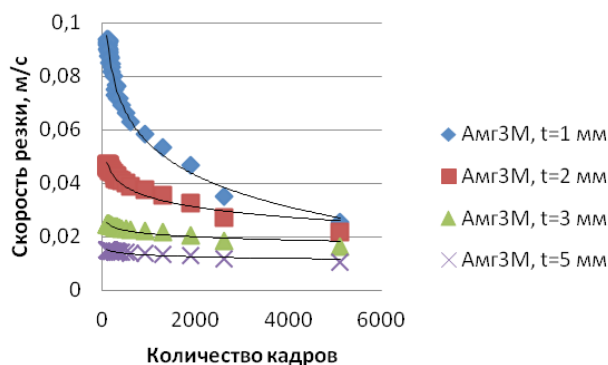


Рис. 2. Зависимость скорости резки от количества кадров в УП

В зависимости скорости рабочего хода от длины прямого реза, от количества крупных/мелких деталей в плане видим увеличение скорости при увеличении прямого реза и сокращении количества мелких деталей на карте раскроя (рис. 3).

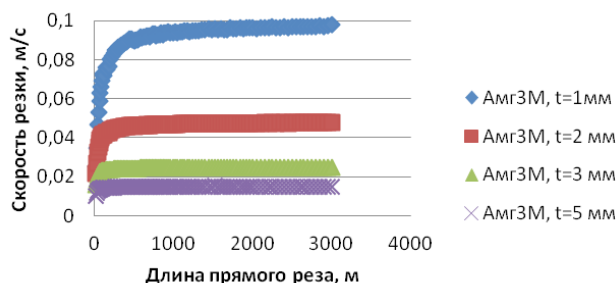


Рис. 3. Изменение скорости обработки при резке крупных и мелких контуров листового материала разной толщины

Анализируя полученные результаты, были получены значения поправочных коэффициентов для скорости рабочего хода в целевой функции задачи оптимизации маршрута инструмента (табл. 1).

3. Изменение скорости рабочих переходов инструмента в зависимости от длины реза и радиуса скруглений прямых углов. Для определения изменения скорости обработки листового материала в зависимости от количества мелких/крупных контуров с радиусом скруглений прямых углов были рассмотрены заготовки типа прямоугольник с различными габаритными размерами. Были выделены те же 10 групп прямоугольников с различными размерами, как и в случае, рассмотренном выше. с радиусами скруглений 1, 2, 5 и 10 мм прямых углов. В каждой группе выделялось еще 10 групп. Далее были разработаны планы раскроя для лазерного комплекса Bystar3015. Пользуясь результатами, полученными с помощью post-processing, не сложно определить скорость резки материала в зависимости от длины прямых резов и радиусов скруглений прямых углов. В зависимости скорости рабочего хода инструмента от длины прямого реза, от количества крупных/мелких деталей в плане, от радиуса скруглений прямых углов видим увеличение скорости при увеличении прямого реза и сокращении количества мелких деталей на карте раскроя (радиус скруглений 1 мм, рис. 4).

В результате аппроксимации результатов были получены зависимости скорости рабочих переходов инструмента от длины прямого реза для случаев с радиусом скруглений 1, 2, 5 и 10 мм для сплава алюминия, толщиной 1, 2, 3 и 5 мм. Например, для случая с радиусом скругления прямых углов $R = 1$ мм можно определить значение скорости резки в зависимости от длины прямого реза l для AMg3M $t = 1$ мм по следующей формуле:

$$V_p = 0,0125 \cdot \ln(l) + 0,0023 \quad (4)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9393$.

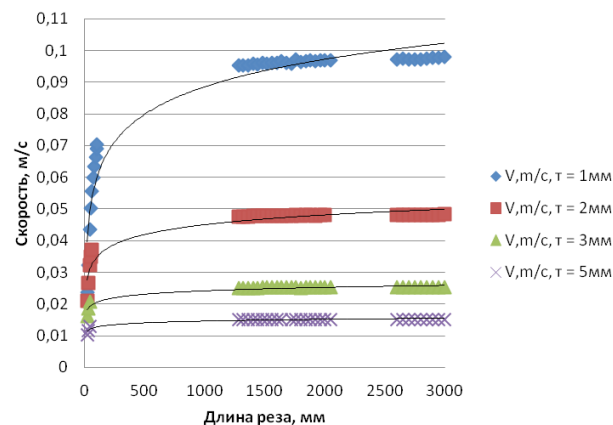


Рис. 4. Изменение скорости обработки заготовок типа прямоугольник с радиусом скруглений 1 мм по углам для AMg3M разной толщины для лазерного комплекса Bystar3015

Анализируя результаты, были получены значения поправочных коэффициентов для скорости рабочего хода в целевой функции задачи оптимизации маршрута инструмента. В табл. 2 приведены значения поправочных коэффициентов для случаев с $R = 1$ мм.

По результатам исследований были получены зависимости скорости резки от количества кадров в УП (рис. 5). В результате аппроксимации результатов были получены зависимости скорости резки от количества кадров в УП для случаев с радиусом скруглений 1,2,5 и 10 мм для AMg3M толщиной 1,2,3 и 5 мм. Например, можно определить значение скорости резки в зависимости от количества кадров n в УП для сплава алюминия толщиной 1 мм по следующей формуле:

$$V_p = -0,015 \cdot \ln(n) + 0,1584 \quad (5)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9413$.

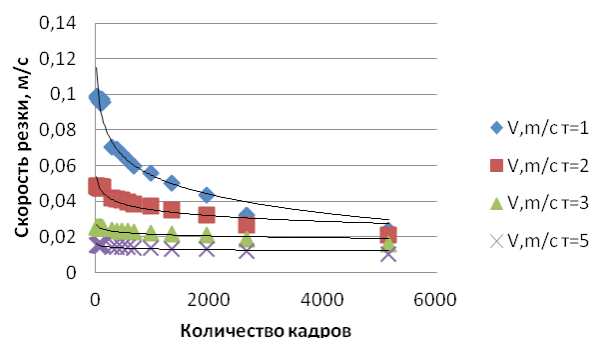


Рис. 5. Зависимость скорости резки от количества кадров в УП для случая с радиусом скругления 1 мм

Итоговая таблица значений поправочного коэффициента для скорости рабочего хода для Bystar 3015

L , мм	$A_{mg}, t = 1 \text{ мм}$		$A_{mg}, t = 2 \text{ мм}$		$A_{mg}, t = 3 \text{ мм}$		$A_{mg}, t = 5 \text{ мм}$	
	V_{cp} , м/с	K	V_{cp} , м/с	K	V_{cp} , м/с	K	V_{cp} , м/с	K
до 100 мм	0,1	0,66979	0,4833	0,738088	0,025	1,184469	0,015	0,880604
до 300 мм		0,801841		0,809066		1,045626		0,968498
до 500 мм		0,890791		0,947022		1,020802		0,988503
до 700 мм		0,913707		0,9587		0,967429		0,994127
до 900 мм		0,931828		0,967429		1,010741		0,997624
до 1200 мм		0,94331		0,973325		1,007614		1,000821
до 1600 мм		0,95367		0,978361		1,005549		1,003909
до 2000 мм		0,960825		0,981301		1,00442		1,003108
до 2500 мм		0,96525		0,984408		1,003321		1,003902
до 3000 мм		0,970416		0,986308		1,002103		1,005122

Таблица 2

Итоговая таблица значений поправочного коэффициента для скорости рабочего хода для Bystar 3015 с радиусом скруглений $R = 1 \text{ мм}$

L , мм	$A_{mg3}, t=1\text{мм}$		$A_{mg3}, t=2\text{мм}$		$A_{mg3}, t=3\text{мм}$		$A_{mg3}, t = 5 \text{ мм}$	
	V_{cp} , м/с	K	V_{cp} , м/с	K	V_{cp} , м/с	K	V_{cp} , м/с	K
до 100 мм	0,1	0,597772	0,4833	0,791649	0,025	0,86258	0,015	0,885929
от 1200 до 1600 мм		0,957887		0,988231		1,006041		1,008298
от 1640 до 2000 мм		0,96602		0,996011		1,007534		1,009658
от 2050 до 2500 мм		0,989613		0,994701		1,008596		1,010698
от 2550 до 3000 мм		0,976044		0,996907		1,009753		1,011584

Заключение. Сформулируем основные результаты, полученные в данной работе.

1. Были рассмотрены конкретные практические примеры лазерной резки материала АМгЗМ различной толщины для лазерного комплекса Bystar 3015. Был проведен анализ полученных результатов и получены логарифмические зависимости скорости резки от количества кадров в управляющей программе для сплава АМгЗМ с определенными коэффициентами детерминации. Из рис. 2 видно, что с увеличением количества кадров в УП скорость значительно сокращается (особенно это видно для $A_{mg3M}, t = 1 \text{ мм}$). С увеличением длины прямого реза и сокращением количества мелких деталей в плане можно наблюдать увеличение скорости рабочих переходов инструмента (рис. 3). Были получены значения поправочных коэффициентов для скорости рабочего хода инструмента в целевой функции задачи оптимизации маршрута инструмента (табл. 1).

2. Были проанализированы результаты обработки заготовок без прямых углов (скругления на углах разного радиуса (рис. 1)) и получены логарифмические зависимости скорости резки от количества кадров в УП и от длины прямого реза для сплава АМгЗМ. Анализируя результаты, полученные при обработке заготовок с прямыми углами (рис. 2 и 3) и заготовок со скруглением острых углов (рис. 4 и 5), можно заметить, что во втором случае скорость рабочих переходов инструмента оказывается выше, чем в случае с обработкой заготовок

с прямыми углами. Также были получены значения поправочных коэффициентов для скорости рабочего хода инструмента в целевой функции задачи оптимизации маршрута инструмента (табл. 2).

3. Таким образом, получив поправочные коэффициенты скорости рабочих переходов при лазерной резке можно внести корректировки в целевую функцию задачи оптимизации маршрута инструмента. И используя логарифмические зависимости можно определить значение скорости рабочих переходов в определенный момент. В дальнейшем планируется провести подобное исследование для других марок материала, а также провести сравнительный анализ изменения скорости резки при прямых перемещениях и перемещениях по дуге.

Библиографический список

1. Петунин, А. А. Разработка САМ системы для машин резки листового материала как пример инновации / А. А. Петунин // Инновационные информационные технологии: теория и практика : материалы Междунар. семинара (Карсруе — Уфа — Дрезден, 8–13 апреля 2011 г.). Уфа, 2011. С. 47–50.
2. Таваева, А. Ф. К вопросу оптимизации стоимостных параметров лазерной резки на машинах с ЧПУ / А. Ф. Таваева, А. А. Петунин // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support : материалы 2-й Междунар. конф. ITIDS'2014. Уфа : УГАТУ, 2014. Т. 2. С. 74–79.

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ МАРШРУТИЗАЦИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Исследуется «аддитивная» задача маршрутизации с условиями предшествования и функциями стоимости, допускающими зависимость от списка заданий. Предлагается процедура построения оптимального решения на основе широко понимаемого динамического программирования.

1. Рассматривается задача последовательного обхода мегаполисов, осложненная ограничениями и возможной зависимостью функций стоимости от списка заданий, не выполненных на текущий момент. Возможные применения разрабатываемой теории связаны, в частности, с проблемой снижения облучаемости персонала АЭС при выполнении комплекса работ в условиях радиации, с задачами, возникающими при перемещении инструмента для осуществления листовой резки на машинах с числовым программным управлением (ЧПУ), задачами о морских и авиационных перевозках. Прототипом рассматриваемой постановки является известная труднорешаемая задача коммивояжера [1; 2], однако существенные особенности, связанные с приложениями, делают целесообразным теоретическое исследование более общих задач с ограничениями.

В статье рассматривается подход, связанный идейно с динамическим программированием (следуем при этом конструкциям [3. § 4.9], развитием которых являются построения [4; 5]).

2. Приведем некоторые обозначения общего характера. Через $\text{Fin}(S)$ обозначаем семейство всех непустых конечных подмножеств множества S . Ниже широко используются построения с применением упорядоченных пар. В этой связи следуем соглашению: если z какая-либо упорядоченная пара, то через $pr_1(z)$ и $pr_2(z)$ обозначаем ее первый и второй элементы соответственно; разумеется, $z = (pr_1(z), pr_2(z))$. Если x — какой-либо объект, то через $\{x\}$ обозначаем синглетон, содержащий x , то есть одноэлементное множество со свойством $x \in \{x\}$. Для каждого непустого конечного множества K через $|K|$ обозначается его мощность (количество элементов K), $|K| \in \mathbb{N}$. Полагаем, что $|\emptyset| \triangleq 0$, где $\triangleq$ — равенство по определению. Полагаем $\mathbb{N} \triangleq \{1; 2; \dots\}$ (натуральный ряд), $\mathbb{N}_0 \triangleq \{0; 1; 2; \dots\} = \{0\} \cup \mathbb{N}$ и при $p \in \mathbb{N}_0$, $q \in \mathbb{N}_0$, $\overline{p, q} \triangleq \{i \in \mathbb{N}_0 | (p \leq i) \& (i \leq q)\}$; допускается вариант $\overline{p, q} = \emptyset$ (если $q < p$).

3. Фиксируем непустое множество X , $x^0 \in X$, число $N \in \mathbb{N}$, $N \geq 2$, множества $M_1 \in \text{Fin}(X)$, ..., $M_N \in \text{Fin}(X)$, а также непустые отношения $\mathbb{M}_1, \dots, \mathbb{M}_N$, $\mathbb{M}_1 \subset M_1 \times M_1$, ..., $\mathbb{M}_N \subset M_N \times M_N$.

Пусть $(x^0 \notin M_j \ \forall j \in \overline{1, N}) \& (M_p \cap M_q = \emptyset \text{ при } p \neq q)$. Исследуются вопросы, связанные с организацией перемещений

$$x^0 \rightarrow (z_1 \in \mathbb{M}_{\alpha(1)}) \rightarrow \dots (z_N \in \mathbb{M}_{\alpha(N)}), \quad (1)$$

где α — перестановка $\overline{1, N}$, именуемая маршрутом.

При $j \in \overline{1, N}$ отношение $\mathbb{M}_j$ определяет возможные варианты работ, связанные с посещением M_j (пункты прибытия и отправления). Кортеж $(z_0, z_1, \dots, z_N)$, где $z_0 \triangleq (x^0, x^0)$ называем трассой, согласованной (посредством (1)) с маршрутом α . Пару «маршрут — трасса» называем решением, на выбор которого могут накладываться дополнительные (по отношению к (1)) ограничения.

4. Полагаем, что $\mathbb{M}_j \triangleq \{pr_2(z) : z \in \mathbb{M}_j\} \ \forall j \in \overline{1, N}$.

Тогда при $\mathbb{X} \triangleq \{x^0\} \cup (\bigcup_{i=1}^N M_i)$
 $X \triangleq \{x^0\} \cup (\bigcup_{i=1}^N \mathbb{M}_i) \subset \mathbb{X}$.

Пусть $\mathbb{Z}$ — множество всех кортежей $(z)_{i \in \overline{0, N}} : \overline{0, N} \rightarrow \mathbb{X} \times X$. Среди таких кортежей выделяются трассы, согласованные с тем или иным маршрутом. В этой связи условимся через $\mathbb{P}$ обозначать множество всех перестановок $\overline{1, N}$ (то есть множество маршрутов). Выбор $\alpha \in \mathbb{P}$ может быть стеснен условиями предшествования, определенными в терминах множества $\mathbf{K}$, $\mathbf{K} \subset \overline{1, N} \times \overline{1, N}$, всех (адресных) пар «отправитель — получатель»; постулируем, что для каждого непустого множества $\mathbf{K}_0$, $\mathbf{K}_0 \subset \mathbf{K}$ существует $z_0 \in \mathbf{K}_0$ со свойством $pr_1(z_0) \neq pr_2(z_0) \ \forall z \in \mathbf{K}_0$ (здесь и ниже $pr_1(h)$ и $pr_2(h)$ — первый и второй элементы упорядоченной пары h : $h = pr_1(h), pr_2(h)$). Тогда [3, часть 2]

$$\begin{aligned} \mathcal{A} &\triangleq \{\alpha \in \mathbb{P} \mid \alpha^{-1}(pr_1(z)) < \alpha^{-1}(pr_2(z)) \ \forall z \in \mathbf{K}\} = \\ &= \{\alpha \in \mathbb{P} \mid \forall z \in \mathbf{K} \ \forall t_1 \in \overline{1, N} \ \forall t_2 \in \overline{1, N} \end{aligned}$$

$$(\alpha(t_1) = pr_1(z)) \& (\alpha(t_2) = pr_2(z)) \Rightarrow (t_1 < t_2)\} \neq \emptyset$$

есть множество всех маршрутов, допустимых по предшествованию. Если $\alpha \in \mathbb{P}$, то $Z_\alpha \triangleq \{(z)_{i \in \overline{0, N}} \in \mathbb{Z} \mid (z_0 = (x^0, x^0)) \& (z_t \in \mathbb{M}_{\alpha(t)} \ \forall t \in \overline{1, N})\}$ есть (непустое конечное) множество всех трасс, согласованных с α . Каждую пару $(\alpha, \mathbb{Z})$, где $\alpha \in \mathcal{A}$ и $\mathbb{Z} = Z_\alpha$, рассматриваем как допустимое решение (ДР) формулируемой ниже задачи; множество всех таких решений непусто и конечно.

5. Рассматриваем задачу с аддитивным агрегированием затрат, полагая элементарные функции стоимости «максимально» продолженными: фиксируем неотрицательные вещественнозначные (в/з) функции $c, c_1, \dots, c_N$, определенные на $\mathbb{X} \times \mathbb{X} \times \mathfrak{N}$, где $\mathfrak{N}$ — семейство всех непустых подмножеств $\overline{1, N}$, и неотрицательную в/з функцию f , определенную на $\mathbb{X}$. При $\alpha \in \mathbb{P}$ и $(z)_{i \in \overline{0, N}} \in \mathbb{Z}$ полагаем

$$\begin{aligned} \mathfrak{C}_\alpha[(z)_{i \in \overline{0, N}} \in \mathbb{Z}] &\triangleq \\ &\triangleq \sum_{i=1}^N [c(pr_2(z_{i-1}), pr_1(z_i), \{\alpha(j) : j \in \overline{1, N}\}) + \\ &+ c_{\alpha(i)}(z_i, \{\alpha(j) : j \in \overline{1, N}\})] + f(pr_2(z_N)). \end{aligned} \quad (2)$$

Учитываем, что $\mathbb{X} \times \mathbb{X} \times \mathfrak{N} = (\mathbb{X} \times \mathbb{X}) \times \mathfrak{N}$; для нас (2) существенно при $\alpha \in \mathbf{A}$ и $(z_i)_{i \in \overline{0, N}} \in \mathbb{Z}_\alpha$. Основная задача имеет вид

$$\mathfrak{E}_\alpha[(z_i)_{i \in \overline{0, N}}] \rightarrow \min, \alpha \in \mathbf{A}, (z_i)_{i \in \overline{0, N}} \in \mathbb{Z}_\alpha. \quad (3)$$

Через V обозначаем значение (3), то есть наименьшее из чисел $\mathfrak{E}_\alpha[\mathbb{Z}]$, $\alpha \in \mathbf{A}$, $\mathbb{Z} = \mathbb{Z}_\alpha$. Называем ДР $(\alpha_o, \mathbb{Z}_o) \in \mathbf{D}$ оптимальным, если $\mathfrak{E}_{\alpha_o}[\mathbb{Z}_o] = V$. Ясно, что такие решения существуют.

6. Для решения задачи (3) применяем динамическое программирование. (ДП). Подробное изложение см. в [5], где введена (неотрицательная в/з) функция Беллмана v , определенная на множестве $\mathbf{X} \times \mathbf{N}$, где $\mathbf{N} \triangleq \mathfrak{N} \cup \{\emptyset\}$, и указано конкретное уравнение [5. Формула (4.8)], ее определяющее; $V = v(x^o, \overline{1, N})$ граничимся экономичным вариантом ДП [5. Раздел 4], связанным с построением слоев v . Полагаем

$$\mathbf{G} \triangleq \{K \in \mathfrak{N} \mid \forall z \in K (pr_1(z) \in K) \Rightarrow (pr_2(z) \in K)\}.$$

Множества $K \in \mathbf{G}$ называем существенными списками (заданий). Если $s \in \overline{1, N}$, то $\mathbf{G}_s \triangleq \{K \in \mathbf{G} \mid s \in K\}$ характеризует s -элементные существенные списки. При этом $\mathbf{G}_N = \{\overline{1, N}\}$ (синглетон) и $\mathbf{G}_1 = \{\{t\} : t \in \overline{1, N} \setminus K_1\}$, где $K_1 \triangleq \{pr_1(z) : z \in K\}$. Напомним, что (см. [3. Ч. 2]) $I: \mathfrak{N} \rightarrow \mathfrak{N}$ определяется правилом

$$I(K) \triangleq K \setminus \{pr_2(z) : z \in \Xi[K]\},$$

где $\Xi[K] \triangleq \{z \in K \mid (pr_1(z) \in K) \& (pr_2(z) \in K)\}$ (здесь $K \in \mathfrak{N}$). В терминах I имеем (см. [5. Формула (4.12)]), что $\mathbf{G}_{s-1} = \{K \setminus \{t\} : K \in \mathbf{G}_s, t \in I(K)\} \forall s \in \overline{2, N}$. Получили рекуррентную процедуру

$$\mathbf{G}_N \rightarrow \mathbf{G}_{N-1} \rightarrow \dots \rightarrow \mathbf{G}_1 \quad (4)$$

($\mathbf{G}_N$ известно), которой сопоставляется процедура построения слоев пространства $\mathbf{X} \times \mathbf{N}$, обозначаемых через $D_o, D_1, \dots, D_N$. При этом $D_N \triangleq \{x^o, \overline{1, N}\}$ (синглетон), а $D_o = \{(x, \emptyset) : x \in \mathbf{F}\}$, где $\mathbf{F}$ есть def объединение всех множеств $M_i, i \in \overline{1, N} \setminus K_1$. Если $s \in \overline{1, N-1}$ и $K \in \mathbf{G}_s$, то при $J_s(K) \triangleq \{j \in \overline{1, N} \setminus K \mid \{t\} \cup K \in \mathbf{G}_{s+1}\}$ определяем в $\Phi_s[K]$ виде объединения всех множеств $\mathbf{M}_j, j \in J_s(K)$, после чего конструируем клетку пространства позиций $\mathbb{D}_s[K] \triangleq \{(x, K) : x \in \Phi_s[K]\} \neq \emptyset$. Теперь при $s \in \overline{1, N-1}$ слой D_s определяем в виде (дизъюнктного) объединения всех клеток $\mathbb{D}_s[K], K \in \mathbf{G}_s$. Каждое из множеств $D_o, D_1, \dots, D_N$ непусто. При этом $(pr_2(z), K \setminus \{j\}) \in D_{s-1} \forall s \in \overline{1, N} \forall (x, K) \in D_s \forall j \in I(K) \forall z \in \mathbb{M}_j$. (5)

Теперь определяем $v_o: D_o \rightarrow [0, \infty[$ по правилу $v_o(x, \emptyset) \triangleq f(x) \forall x \in \mathbf{F}$. Последующее построение функций

$$v_1: D_1 \rightarrow [0, \infty[, \dots, v_N: D_N \rightarrow [0, \infty[\quad (6)$$

осуществляется рекуррентно: если $s \in \overline{1, N}$ и функция v_{s-1} уже известна, то (см. (5)) v_s определяется правилом

Итак (см. (7)), реализуем построение $v_o \rightarrow v_1 \dots \rightarrow v_N$, при котором $V = v_N(x^o, \overline{1, N})$ (глобальный экстремум задачи).

Оптимальные решения. Располагая функциями (6), конструируем оптимальную пару «маршрут — трасса». Пусть $\mathbb{Z}^{(o)} \triangleq (x^o, x^o)$. С учетом (7) выбираем $\mathbb{J}_1 \in I(\overline{1, N})$ и $\mathbb{Z}^{(1)} \in \mathbb{M}_{\mathbb{J}_1}$ так, что

$$V = c(x^o, pr_1(\mathbb{Z}^{(1)}, \overline{1, N})) + c_{\mathbb{J}_1}(\mathbb{Z}^{(1)}, \overline{1, N}) + v_{N-1}(pr_2(\mathbb{Z}^{(1)}, \overline{1, N} \setminus \{\mathbb{J}_1\})), \quad (8)$$

где (см. (5)) $(pr_2(\mathbb{Z}^{(1)}, \overline{1, N} \setminus \{\mathbb{J}_1\})) \notin D_{N-1}$. Вновь используя (7), выбираем $\mathbb{J}_2 \in I(\overline{1, N} \setminus \{\mathbb{J}_1\})$ и $\mathbb{Z}^{(2)} \in \mathbb{M}_{\mathbb{J}_2}$ из условия

$$v_{N-1}(pr_2(\mathbb{Z}^{(1)}, \overline{1, N} \setminus \{\mathbb{J}_1\})) = c(pr_2(\mathbb{Z}^{(1)}, pr_1(\mathbb{Z}^{(2)}, \overline{1, N} \setminus \{\mathbb{J}_1\})) + c_{\mathbb{J}_2}(\mathbb{Z}^{(2)}, \overline{1, N}) + v_{N-2}(pr_2(\mathbb{Z}^{(2)}, \overline{1, N} \setminus \{\mathbb{J}_1, \mathbb{J}_2\})),$$

получая с учетом (8) следующее равенство

$$V = \sum_{t=1}^2 [c(pr_2(\mathbb{Z}^{(t-1)}, pr_1(\mathbb{Z}^{(t)}, \overline{1, N} \setminus \{\mathbb{J}_s : s \in \overline{1, t-1}\} + c_{\mathbb{J}_t}(\mathbb{Z}^{(t)}, \overline{1, N} \setminus \{\mathbb{J}_s : s \in \overline{1, t-1}\})) + v_{N-2}(pr_2(\mathbb{Z}^{(2)}, \overline{1, N} \setminus \{\mathbb{J}_s : s \in \overline{1, 2}\})) \quad (9)$$

(при этом $\overline{1, 0} = \emptyset$). Далее построение, приводящее к (9), следует продолжать вплоть до исчерпывания всего списка $\overline{1, N}$. В итоге будут получены маршрут $\eta \triangleq (\mathbb{J}_s)_{s \in \overline{1, N}} \in \mathbf{A}$ и трасса $(\mathbb{Z}^{(t)})_{t \in \overline{0, N}} \in \mathbb{Z}_\eta$, для которых $\mathfrak{E}_\eta[(\mathbb{Z}^{(t)})_{t \in \overline{0, N}}] = V$ (условие оптимальности ДР $(\eta, (\mathbb{Z}^{(t)})_{t \in \overline{0, N}})$; при $N = 2$ этот вывод сразу следует из (9) с учетом определения v_o)

Библиографический список

1. Меламед, И. И. Задача коммивояжера. I. Вопросы теории. II. Точные алгоритмы. III. Приближенные алгоритмы / И. И. Меламед, С. И. Сергеев, И. Х. Сигал // Автоматика и телемеханика. 1989. № 9. С. 3–34; № 10. С. 3–29; № 11. С. 3–26.
2. Gutin, G. The Traveling Salesman Problem and Its Variations / G. Gutin, A. Punnen. Berlin : Springer, 2002. 850 p.
3. Ченцов, А. Г. Экстремальные задачи маршрутизации и распределения заданий: вопросы теории / А. Г. Ченцов. М. ; Ижевск : РХД, 2008. 238 с.
4. Ченцов, А. Г. К вопросу о маршрутизации комплексов работ / А. Г. Ченцов // Вестн. УдГУ. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2013. Вып. 1. С. 59–82.
5. Ченцов, А. Г. Задача последовательного обхода мегаполисов с условиями предшествования / А. Г. Ченцов // Автоматика и телемеханика. 2014. № 4. С. 170–190.

МЕТОДИКА ДВУХУРОВНЕВОГО МИНИМАКСНОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ РЕГИОНА

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-18-00574)

Рассматривается дискретная динамическая система, состоящая из набора управляемых объектов (региона и образующих его муниципалитетов), динамика каждого из которых описывается соответствующим векторным линейным дискретным рекуррентным соотношением при наличии управляемых параметров и возмущений (рисков). Для данной динамической системы рассматривается задача оптимизации управления экономической безопасностью региона при наличии рисков. Предлагается экономико-математическая модель двухуровневого иерархического минимаксного программного управления экономической безопасностью региона при наличии рисков и общая методика для ее решения.

Методы математического моделирования сложных экономических, технических и других динамических процессов, функционирующих в условиях риска и информационной неопределенности, позволяют анализировать ситуации, когда явно присутствуют несколько уровней принятия управленческих решений при наличии конкретных условий информированности и иерархической подчиненности для субъектов управления. Известно, что математические модели таких процессов являются многоуровневыми иерархическими динамическими системами с неполной информацией и их исследование представляет самостоятельный интерес в рамках математической теории процессов управления и экономико-математического моделирования.

На заданном целочисленном промежутке времени $0, T = \{0, 1, \dots, T\} (T > 0)$ рассматривается многошаговая динамическая система, которая состоит из $(n+1)$ -го управляемого объекта ($n \in \mathbf{N}$; здесь и далее, $\mathbf{N}$ — множество всех натуральных чисел). Динамика объекта I (основного объекта системы — региона), управляемого доминирующим игроком P , описывается векторным линейным дискретным рекуррентным уравнением вида

$$y(t+1) = A(t)y(t) + B(t)u(t) + C(t)v(t) + D(t)w(t), y(0) = y_0, \quad (1)$$

динамика объекта Π_i (i -го вспомогательного объекта системы — i -го муниципалитета), управляемого подчиненным игроком E_i ($i \in \overline{1, n}$), описывается следующим уравнением

$$z^{(i)}(t+1) = A^{(i)}(t)z^{(i)}(t) + B^{(i)}(t)u(t) + C^{(i)}(t)v^{(i)}(t) + D^{(i)}(t)w^{(i)}(t), z^{(i)}(0) = z_0^{(i)}, \quad (2)$$

где $t \in 0, T-1$;

$y(t) = (y_1(t), y_2(t), \dots, y_r(t))' \in \mathbf{R}^r$ — вектор фазовых переменных или фазовый вектор объекта I — набор основных параметров, описывающих состояние экономической безопасности региона в момент времени t ;

для $k \in \mathbf{N}$, $\mathbf{R}^n$ — n -мерное векторное пространство векторов-столбцов, даже если из экономии места они записаны в строку;

$z^{(i)}(t) = (z_1^{(i)}(t), z_2^{(i)}(t), \dots, z_{s_i}^{(i)}(t))' \in \mathbf{R}^{s_i}$ — вектор фазовых переменных или фазовый вектор объекта Π_i — набор основных параметров, описывающих состояние экономической безопасности i -го муниципалитета ($i \in \overline{1, n}$) в момент времени t ;

$u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_p(t))' \in \mathbf{R}^p$ — вектор управляющего воздействия (управления) доминирующего игрока P в период времени t ($t \in 0, T-1$), удовлетворяющий заданному ограничению:

$$u(t) \in U_1(t) = \{u(t): u(t) \in \{u^{(1)}(t), u^{(2)}(t), \dots, u^{(N)}(t)\} \subset \mathbf{R}^p\}, \quad (3)$$

где $U_1(t)$, для каждого $t \in \overline{0, T-1}$, есть конечное множество векторов, то есть конечный набор, состоящий из N_t ($N_t \in \mathbf{N}$) векторов в $\mathbf{R}^p$ ($p \in \mathbf{N}$);

$v^{(i)}(t) = (v_1^{(i)}(t), v_2^{(i)}(t), \dots, v_{q_i}^{(i)}(t))' \in \mathbf{R}^{q_i}$ — вектор управляющего воздействия (управления) подчиненного игрока E_i ($i \in \overline{1, n}$) в период времени t ($t \in 0, T-1$), который зависит от допустимой реализации управления $u^{(j)}(t) \in U_1(t)$ игрока P ($j \in \overline{1, N_t}$) и должен удовлетворять следующему заданному ограничению:

$$v^{(i)}(t) \in V_1^{(i)}(u^{(j)}(t)) = \{v^{(i)}(t): v^{(i)}(t) \in \{v^{(i,1)}(t), v^{(i,2)}(t), \dots, v^{(i, Q_i^{(j)}(t))}(t)\} \subset \mathbf{R}^{q_i}\}, \quad (4)$$

где $V_1^{(i)}(u^{(j)}(t))$ для каждого момента времени $t \in \overline{0, T-1}$ и управления $u^{(j)}(t) \in U_1(t)$ игрока P есть конечное множество векторов, то есть конечный набор, состоящий из $Q_i^{(j)}(t)$ ($Q_i^{(j)}(t) \in \mathbf{N}, j \in \overline{1, N_t}$) векторов в $\mathbf{R}^{q_i}$;

$v(t) = (v^{(1)}(t), v^{(2)}(t), \dots, v^{(n)}(t))' \in \mathbf{R}^{(n \times q)}$ — вектор управления обобщенного подчиненного игрока E , объединяющего всех подчиненных игроков $E_i, i \in \overline{1, n}$ ($q = \sum_{i=1}^n q_i \in \mathbf{N}$).

В уравнениях (1) и (2) фигурируют матрицы соответствующих размерностей. В уравнении (1), описывающем динамику объекта I , $w(t) = (w_1(t), w_2(t), \dots, w_m(t))' \in \mathbf{R}^m$ — вектор рисков (или помехи) для этого объекта, который в каждый период времени t ($t \in 0, T-1$) зависит от допустимой реализации управления $u^{(j)}(t) \in U_1(t)$ игрока P ($j \in \overline{1, N_t}$) и удовлетворяет заданному ограничению. В уравнении (2), описывающем динамику объекта Π_i ($i \in \overline{1, n}$),

$w^{(i)}(t) = (w_1^{(i)}(t), w_2^{(i)}(t), \dots, w_{m_i}^{(i)}(t))' \in \mathbf{R}^{m_i}$ — вектор рисков (или помехи) для этого объекта, который в каждый период времени t ($t \in \overline{0, T-1}$) также зависит от допустимой реализации управления $u^{(j)}(t) \in U_j(t)$ игрока P ($j \in \overline{1, N_j}$) и удовлетворяет соответствующему заданному ограничению. Предполагается, что игроку P известен принцип формирования управления $v^{(i)}(\cdot) = \{v^{(i)}(t)\}_{t \in \overline{\tau, \vartheta-1}}$ ($\forall t \in \overline{\tau, \vartheta-1}$: $v^{(i)}(t) \in V_1^{(i)}(u^{(j)}(t))$) каждым из игроков E_i , $i \in \overline{1, n}$, на промежутке времени $\tau, \vartheta \subseteq \overline{0, n}$, который зависит от выбора на этом промежутке управления $u(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \overline{\tau, \vartheta-1}}$ ($\forall t \in \overline{\tau, \vartheta-1}$: $u(t) \in U_1(t)$) игроком P и описывается соотношением (4), причем выбранное каждым игроком E_i управление сообщается игроку P .

Описанные возможности поведения игрока P совместно с объектами I и Π_p , $i \in \overline{1, n}$ определяют доминирующий (региональный) или уровень управления I рассматриваемого процесса управления в дискретной динамической системе (1)–(4). Выбор возможной реализации управления $v^{(i)}(\cdot) = \{v^{(i)}(t)\}_{t \in \overline{\tau, \vartheta-1}}$ игроком E_i ($i \in \overline{1, n}$) на промежутке времени τ, ϑ в каждый момент времени $t \in \tau, \vartheta$ в соответствии с ограничением (4) стеснен допустимой реализацией управления $u(\cdot) = \{u(t)\}_{t \in \overline{\tau, \vartheta-1}}$ игрока P , которое сообщается игроку E_i , а значения $u(t)$ в каждый момент времени $t \in \tau, \vartheta$ определяют соответствующие им ограничения (4).

При этом введенное ограничение (4) устанавливает, что поведение каждого игрока E_i ($i \in \overline{1, n}$) при достижении поставленных перед ним целей, явно зависит от поведения игрока P . Тогда, учитывая этот факт, совокупность n игроков E_i , $i \in \overline{1, n}$, называемых также игроком E , и управляемых ими объектов Π_p , $i \in \overline{1, n}$, образуют подчиненный (муниципальный) или уровень управления II рассматриваемого процесса управления (подчиненный доминирующему или уровню управления I). Таким образом, в динамической системе (1)–(4) выделены два уровня принятия управленческих решений — доминирующий (региональный) уровень I , управляемый доминирующим игроком P (субъектом управления регионом), и подчиненный (муниципальный) уровень II , управляемый игроком E (субъектом управления муниципалитетами).

В сфере интересов доминирующего игрока P находятся финальные (терминальные) значения фазовых состояний всех рассматриваемых объектов: объекта I — основного (региона в целом) и объектов Π_p , $i \in \overline{1, n}$, — n вспомогательных объектов (муниципалитетов, входящих в состав региона), и определенных для них нескольких критериев качества, а в сфере интере-

сов подчиненного игрока E находятся значения только финальных фазовых состояний вспомогательных объектов Π_p , $i \in \overline{1, n}$, и соответствующего критерия качества. Оба уровня управления объединены между собой априори определенными информационными и управляющими связями и для каждого игрока описываются конкретные условия информационного обеспечения. Выбор управляющего воздействия на уровне управления II подчиненным игроком E , зависит от выбора управляющего воздействия на уровне управления I доминирующим игроком P . Качество управления рассматриваемыми динамическими объектами на каждом уровне управления оценивается соответствующими им выпуклыми функционалами, которые определены на их терминальных (финальных) фазовых состояниях системы. Предполагается, что фазовые состояния всех объектов и априори неопределенные параметры рассматриваемой динамической системы в каждый момент времени стеснены заданными ограничениями. Для исследуемой динамической системы в данной работе предлагается экономико-математическая формализация в форме решения многошаговой задачи двухуровневого иерархического минимаксного (оптимизации гарантированного результата) программного управления экономической безопасностью региона при наличии рисков и предложена общая методика для ее решения.

Отметим, что важной особенностью предлагаемой методики управления экономической безопасностью региона является то, что ее реализация позволяет сочетать интересы как региона в целом, так и образующих его муниципалитетов.

Полученные в данной работе результаты основываются на исследованиях [1–3] и могут быть использованы при компьютерном моделировании и создании многоуровневых систем управления для сложных динамических процессов, функционирующих в условиях риска и неопределенности.

Библиографический список

1. Красовский, Н. Н. Теория управления движением / Н. Н. Красовский. М. : Наука, 1968. 476 с.
2. Красовский, Н. Н., Субботин А.И. Позиционные дифференциальные игры / Н. Н. Красовский, А. И. Субботин. М. : Наука, 1974. 456 с.
3. Шорилов, А. Ф. Минимаксное оценивание и управление в дискретных динамических системах / А. Ф. Шорилов. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 1997. 242 с.

ФОРМИРОВАНИЕ СЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ФИНАНСОВОГО АНАЛИЗА ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-18-00574)

Обсуждаются актуальные вопросы оптимизации инвестиционного проектирования для хозяйствующего субъекта. Для решения задачи оптимизации финансового анализа инвестиционного проектирования предлагается использовать сетевое экономико-математическое моделирование. Сформирована сетевая модель, включающая последовательность комплекса работ финансового анализа инвестиционного проектирования, приведено ее подробное описание и графическое изображение рассмотренных процессов.

Инвестиционное проектирование представляет собой вид деятельности, связанный с разработкой бизнес-процессов, необходимых для осуществления инвестиционной деятельности хозяйствующих субъектов.

Одной из задач оптимизации инвестиционного проектирования с помощью сетевого моделирования может являться построение сетевой модели финансового анализа инвестиционных проектов.

Для проведения данного этапа моделирования оптимизации инвестиционного проектирования необходимо осуществить расчет финансовых результатов и провести финансовый анализ инвестиционных проектов. Работы этого этапа очень важны для дальнейшего принятия решения по выбору проектов, поэтому рассмотрим их подробнее.

Для проведения финансового анализа из начального этапа сбора полной исходной информации по проектам выделяем необходимые для осуществления финансового анализа данные. К ним относятся: методы ведения бухгалтерского учета, порядок начисления амортизации (амортизация является источником финансирования проекта), расчеты налоговых платежей, график погашения долговых обязательств, стратегия формирования запасов и др. Основная информация берется из баланса предприятия, отчета о прибылях и убытках, отчета о движении денежных средств.

Далее может быть проведен анализ структуры актива и пассива баланса, структуры распределения прибыли и др. Затем проводится анализ динамики за прошлые периоды.

Финансовый анализ инвестиционных проектов проводится по 4 группам коэффициентов — рентабельности, оборачиваемости, финансовой устойчивости (платежеспособности), ликвидности [1].

Приведем краткий перечень коэффициентов финансовой оценки, который соответствует составу необходимой для оптимизации исходной информации.

Коэффициенты рентабельности характеризуют прибыльность проекта и рассчитываются как отношение полученной прибыли к затраченным средствам: рентабельность активов, рентабельность инвестированного капитала, рентабельность собственного

капитала, рентабельность реализации продукции/услуг, стоимость реализации продукции.

Расчет коэффициентов проводится по известным формулам, например, из [1; 2]. В общем виде коэффициенты рентабельности рассчитываются по формуле

$$R = \frac{\text{Прибыль (чистая, балансовая)}}{\text{Производственный показатель}} \times 100 \, \%.$$

где R — коэффициент рентабельности в зависимости от поставленных целей анализа, то есть эффективность каких активов/ресурсов необходимо определить. В качестве производственного показателя могут быть: выручка от продаж, затраты, чистые активы, текущие активы (или оборотные средства), собственный капитал, величина производственных фондов, себестоимость и т. д.

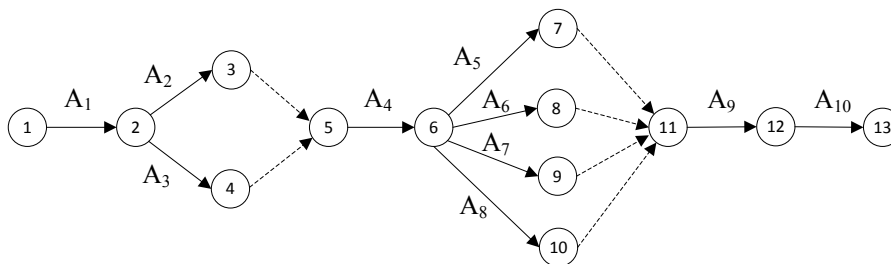
Отметим, что коэффициенты рентабельности имеют статичный характер и отражают результативность работы отдельного отчетного периода, не учитывая отдачу от долгосрочных вложений в будущем, поэтому оценивать показатели рентабельности при использовании новых технологий необходимо в динамике.

Также при расчетах коэффициентов рентабельности для принятия решения следует принимать во внимание сопоставимость данных в числителе и знаменателе — они должны быть выражены в равноценных денежных единицах. Прибыль отражает текущие результаты, а сумма капитала (активов) складывалась в течение нескольких лет и не совпадает с текущей оценкой, поэтому требуется учет индикаторов рыночной стоимости вложений.

Коэффициенты оборачиваемости характеризуют скорость оборота средств, то есть превращения их в денежную форму: оборачиваемость активов, оборачиваемость инвестиционного капитала, оборачиваемость собственного капитала, длительность оборота средств. Для их расчета используют не чистую прибыль, как в коэффициентах рентабельности, а выручку от реализации товаров и услуг/вложения средств.

Например, коэффициент оборачиваемости активов рассчитывают по формуле

$$O = \frac{\text{Выручка от реализации}}{\text{Средние активы за период}}.$$



Сетевая модель финансового анализа инвестиционного проектирования

Так, значение данного коэффициента, равное 3, показывает, что предприятие в течение периода получает выручку, втрое большую стоимости своих активов (активы за период оборачиваются 3 раза).

Коэффициенты финансовой устойчивости применяются для оценки способности предприятия выполнять свои обязательства, то есть погашать задолженность: коэффициент концентрации собственного капитала, коэффициент концентрации заемного капитала, коэффициент финансовой устойчивости (зависимости). Расчет коэффициентов проводится по известным в практике формулам. Например, коэффициент финансовой независимости (собственности)

$$F = \frac{\text{Величина собственного капитала}}{\text{Величина активов предприятия}}.$$

Установление значений для данного показателя достаточно сложно. В современных экономических условиях приемлемым считается 0,5–0,8, в странах со стабильной экономикой он может быть ниже (например, в Японии в среднем 0,2).

Коэффициенты ликвидности применяются для оценки способности проекта выполнять (покрывать) текущие обязательства: коэффициент общей ликвидности (удовлетворительным результатом считают значения этого коэффициента, превышающие 1,6–2,0), коэффициент срочной ликвидности (со значениями более 1,0–1,2), коэффициент абсолютной ликвидности (более 0,8–1,0).

Затем проводится анализ и прогноз прибыли и других финансовых результатов от реализации инвестиционного проекта.

Таким образом, общая схема финансового анализа инвестиционных проектов включает следующие этапы.

1. Отбор необходимых данных для расчета финансовых показателей из собранной информации для инвестиционного проектирования (работа A_1).
2. Анализ структуры актива и пассива баланса, структуры распределения прибыли и др. (работа A_2).
3. Анализ динамики за прошлые периоды (работа A_3).
4. Расчет финансовых показателей (работа A_4).
- 4.1. Коэффициентов рентабельности (работа A_5).
- 4.2. Коэффициентов оборачиваемости (работа A_6).
- 4.3. Коэффициентов финансовой устойчивости (работа A_7).
- 4.4. Коэффициентов ликвидности (работа A_8).
5. Анализ финансовых показателей (работа A_9).

6. Прогноз финансовых результатов (прибыли и др.) от реализации проекта (работа A_{10}).

Сетевая модель финансового анализа инвестиционного проектирования представлена на рисунке.

Здесь пронумерованные узлы означают начало или окончание соответствующей работы [4], сами работы обозначены последовательностью $A_1 \dots A_i$ (A_i — количество работ).

В построенной сетевой модели для каждой работы определяются ее показатели — период допустимого времени исполнения и стоимость выполнения. На основании этих данных предлагается методика определения сетевого графика для процесса инвестиционного проектирования хозяйствующего субъекта, оптимизирующего время и стоимость выполнения необходимых работ.

Таким образом, полученная сетевая модель финансового анализа инвестиционного проектирования предназначена для оптимизации процесса выполнения работ, направленных на главную цель инвестиционного проектирования — максимизацию прибыли и минимизацию риска от вложения средств. Сетевое моделирование финансового анализа инвестиционного проектирования дает возможность последовательно принимать важные управленческие решения. Оптимизация управления инвестиционным проектированием для конкретного хозяйствующего субъекта способствует более эффективной финансово-хозяйственной деятельности этого субъекта.

Библиографический список

1. Ефимова, О. В. Финансовый анализ: современный инструментарий для принятия экономических решений / О. В. Ефимова. М. : Омега-Л, 2014. 348 с.
2. Лисовская, И. А. Финансовый менеджмент / И. А. Лисовская. М. : Рид Групп, 2011. 352 с.
3. Николаев, М. А. Инвестиционная деятельность / М. А. Николаев. М. : Финансы и статистика, 2014. 336 с.
4. Таха Хемди, А. Введение в исследование операций / А. Таха Хемди. М. : Вильямс, 2005. 912 с.
5. Филлипс, Д. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. М. Гарсиа-Диас. М. : Мир, 1984. 496 с.
6. Шориков, А. Ф. Методика оптимизации маркетинговой деятельности хозяйствующего субъекта на основе сетевого моделирования / А. Ф. Шориков, Е. В. Буценко / Социально-экономическое развитие России: возможности, проблемы, перспективы : материалы XXXI Междунар. науч.-практ. конф. Челябинск : АТиСО, 2014. (Рукопись).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ПОЛОЖЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ТЕЛА ВО ВЗВЕШЕННОМ СОСТОЯНИИ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ИНДУКТОРЕ

Предложены математические модели для определения амплитуды напряженности магнитного поля и положения металлического тела при его удержании во взвешенном состоянии в индукторе с обратным витком. Проведено компьютерное моделирование возможных точек равновесия цилиндрического и шарообразного тел в магнитном поле индуктора. Установлено, что существует критическая плотность материала и некое минимальное значение тока через индуктор, которые характеризуют предельные теоретические возможности удержания тела данных размеров.

Введение. Высокочастотное электромагнитное поле не только греет и плавит металл, но и позволяет удерживать его в пространстве без каких-нибудь тиглей или ограничивающих стенок. Плавку металла во взвешенном состоянии называют плавкой в электромагнитном тигле или просто левитационной плавкой (с англоязычного термина «*levitation melting*»). Удержание металла во взвешенном состоянии возможно только в неоднородном магнитном поле. При взаимодействии индуктированного тока с вызывающим его полем в поверхностном слое металла возникают механические силы давления. При определенных условиях результирующая электромагнитных сил может быть направлена противоположно силе гравитации и при достаточно большой мощности, подводимой к металлу, может обеспечивать удержание металла во взвешенном состоянии [1; 2].

Одним из простейших вариантов устойчивой левитационной плавки является использование конструкции индуктора, выполненного из медной трубки, содержащего несколько витков в прямом направлении и один — в обратном (противовиток). Такая конструкция нужна, чтобы внутри индуктора была область, в которой маг-

нитное поле меньше, чем вокруг нее. Проводник, помещенный в переменное электромагнитное поле, выталкивается в область меньших полей и положение образца внутри индуктора будет более устойчивым. В настоящее время при большом интересе к левитационной плавке, простые методы расчета поведения металла в индукторе с обратным витком практически отсутствуют.

Целью работы является разработка упрощенной методики расчета поведения магнитного поля в высокочастотном цилиндрическом индукторе с обратным витком и нахождение положения проводящего тела во взвешенном состоянии при заданных технологических параметрах.

Моделирование поведения напряженности магнитного поля в цилиндрическом индукторе с обратным витком. Рассмотрим индуктор, содержащий в общем случае n витков диаметра $D = 2R_{\text{ц}}$ и $n_{\text{обр}}$ верхних витков намотанных в обратном направлении того же диаметра. Основная и обратная катушки соединены последовательно, и по ним протекает одинаковый ток (рис. 1а). Считаем, что магнитное поле внутри индуктора с обратным витком будет определяться

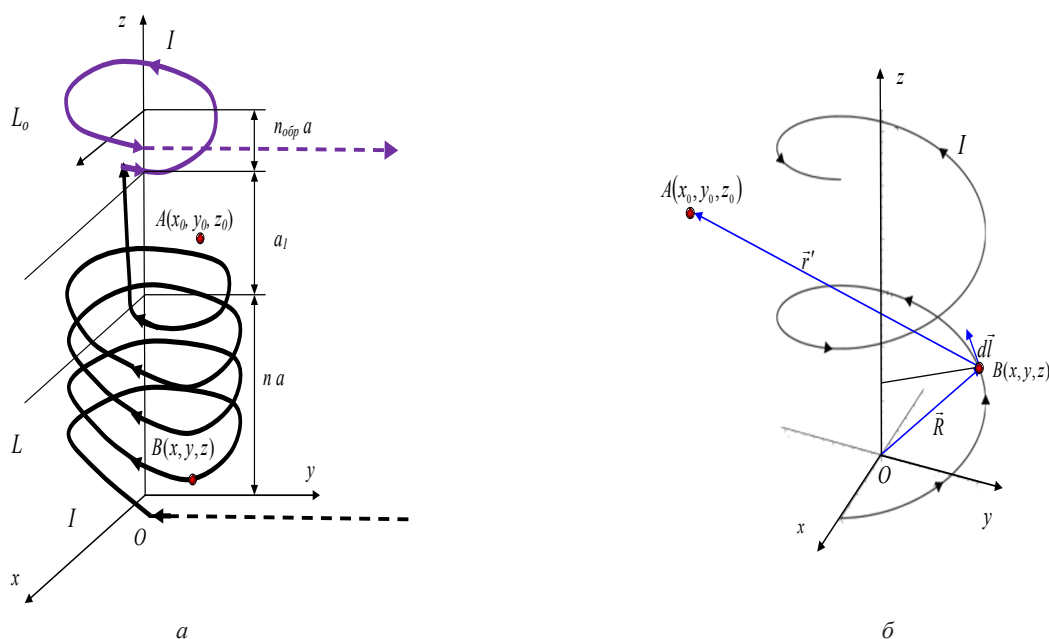


Рис. 1. К расчету магнитного поля в индукторе с обратным витком

суперпозицией магнитных полей от двух винтовых проводников, через которые идут токи в разных направлениях [4; 5]. Расстояние между основной катушкой L и обратными витками L_0 составляет a_1 .

Найдем напряженность магнитного поля вблизи проводника с током I в виде винтовой линии в произвольной точке, не совпадающей с самой линией. Введем декартову (x, y, z) и цилиндрическую (r, φ, z) системы координат, причем они связаны между собой соотношениями: $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, $\varphi = \arctg(x / y)$.

Зададим функцию винтовой линии проводника с током в параметрической форме

$$\begin{cases} x(\varphi) = R_{\text{ц}} \cdot \cos(\varphi), \\ y(\varphi) = R_{\text{ц}} \cdot \sin(\varphi), \\ z(\varphi) = \frac{a}{2\pi} \cdot (\varphi), \end{cases} \quad (1)$$

где $R_{\text{ц}}$ — радиус винтовой линии; a — шаг винтовой линии (расстояние, на котором находятся витки друг от друга), причем, если $a > 0$, то винтовая линия находится в области $z > 0$ и, наоборот, если $a < 0$, то винтовая линия находится в области $z < 0$.

Рассмотрим произвольную точку A , не принадлежащую винтовой линии и имеющую в декартовой системе координаты $A(x_0, y_0, z_0)$, а в цилиндрической $A(r_0, \varphi_0, z_0)$ (см. рис. 1б).

Величина и направление напряженности магнитного поля в точке A от тока, протекающего через элемент $d\vec{l}$ длины провода (точка B) определяется по закону Био — Савара — Лапласа в дифференциальной форме

$$d\vec{H} = \frac{I}{4\pi r^3} [d\vec{l} \times \vec{r}'],$$

где $\vec{r}'$ — радиус-вектор, проведенный от элемента тока $d\vec{l}$ (направление $d\vec{l}$ совпадает с током) к точке A .

Распишем координаты векторов (см. рис. 1б):

$$O\vec{B} = \vec{R} = \left(R_{\text{ц}} \cdot \cos \varphi, R_{\text{ц}} \cdot \sin \varphi, \frac{a}{2\pi} \cdot \varphi \right),$$

$$B\vec{A} = \vec{r}' = (x_0 - R_{\text{ц}} \cdot \cos \varphi, y_0 - R_{\text{ц}} \cdot \sin \varphi, z_0 - z).$$

Расстояние от точки A до точки B определяется модулем последнего вектора

$$r = |\vec{r}'| = ((x_0 - R_{\text{ц}} \cos \varphi)^2 + (y_0 - R_{\text{ц}} \sin \varphi)^2 + (z_0 - z)^2)^{1/2}.$$

Вектор $\vec{R}$ является вектором-функцией со скалярным аргументом, описывающей винтовую линию, поэтому направляющий вектор касательной к годографу

$$d\vec{l} = \frac{d\vec{R}}{d\varphi} = d\varphi \cdot \left(-R_{\text{ц}} \cdot \sin \varphi, R_{\text{ц}} \cdot \cos \varphi, \frac{a}{2\pi} \right).$$

Расписав векторное произведение $[d\vec{l} \times \vec{r}']$, найдем напряженность магнитного поля в точке, заданной цилиндрическими координатами $A(r_0, \varphi_0, z_0)$ вблизи проводника в виде винтовой линии, содержащей n витков [36]:

$$H_x(r_0, \varphi_0, z_0) = \frac{I}{4\pi} \times \int_0^{2\pi n} \frac{R_{\text{ц}} \cos \varphi (z_0 - z) - (r_0 \sin \varphi_0 - R_{\text{ц}} \sin \varphi) \cdot a / (2\pi)}{\eta(\varphi)} \cdot d\varphi, \quad (2)$$

$$H_y(r_0, \varphi_0, z_0) = \frac{I}{4\pi} \times \int_0^{2\pi n} \frac{R_{\text{ц}} \sin \varphi (z_0 - z) + (r_0 \cos \varphi_0 - R_{\text{ц}} \cos \varphi) \cdot a / (2\pi)}{\eta(\varphi)} \cdot d\varphi, \quad (3)$$

$$H_z(r_0, \varphi_0, z_0) = \frac{I}{4\pi} \cdot \int_0^{2\pi n} \frac{R_{\text{ц}}^2 - r_0 R_{\text{ц}} \cos(\varphi - \varphi_0)}{\eta(\varphi)} \cdot d\varphi, \quad (4)$$

где $\eta(\varphi) = (R_{\text{ц}}^2 + r_0^2 - 2 \cdot R_{\text{ц}} \cdot r_0 \cdot \cos(\varphi - \varphi_0) + (z_0 - z)^2)^{3/2}$; $x(\varphi), y(\varphi), z(\varphi)$ определяются по выражению (1).

Для нахождения магнитного поля внутри индуктора с обратным витком проекции напряженности магнитного поля в точке A определяем по как алгебраическую сумму магнитных полей создаваемыми обоими катушками, используя принципу суперпозиции:

$$Hi_x(r_0, \varphi_0, z_0) = H_x^L(r_0, \varphi_0, z_0) - H_x^{L_0}(r_0, \varphi_0, z_0 - na - a_1), \quad (5)$$

$$Hi_y(r_0, \varphi_0, z_0) = H_y^L(r_0, \varphi_0, z_0) - H_y^{L_0}(r_0, \varphi_0, z_0 - na - a_1), \quad (6)$$

$$Hi_z(r_0, \varphi_0, z_0) = H_z^L(r_0, \varphi_0, z_0) - H_z^{L_0}(r_0, \varphi_0, z_0 - na - a_1), \quad (7)$$

где H^L, H^{L_0} проекции напряженности магнитного поля от основной катушки и обратной катушки соответственно, определяемые по формулам (2)–(4).

Радиальная Hi_r и азимутальная Hi_φ проекции и модуль вектора напряженности магнитного поля Hi в точке A :

$$Hi_r(r_0, \varphi_0, z_0) = Hi_y(r_0, \varphi_0, z_0) \sin \varphi_0 - Hi_x(r_0, \varphi_0, z_0) \cos \varphi_0, \quad (8)$$

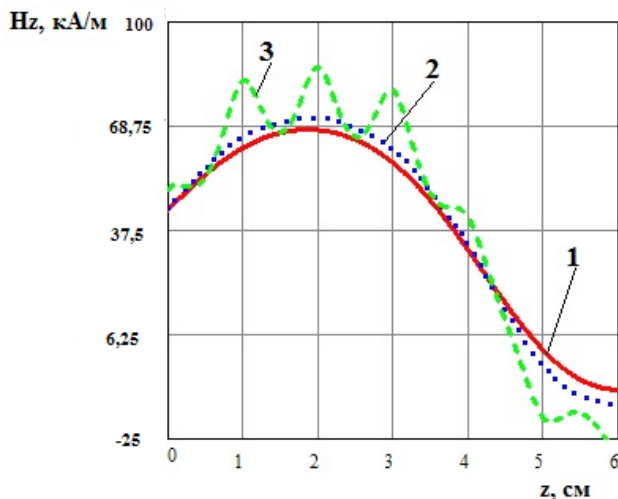
$$Hi_\varphi(r_0, \varphi_0, z_0) = Hi_x(r_0, \varphi_0, z_0) \cos \varphi_0 - Hi_y(r_0, \varphi_0, z_0) \sin \varphi_0, \quad (9)$$

$$Hi(r_0, \varphi_0, z_0) = \sqrt{Hi_x(r_0, \varphi_0, z_0)^2 + Hi_y(r_0, \varphi_0, z_0)^2 + Hi_z(r_0, \varphi_0, z_0)^2}. \quad (10)$$

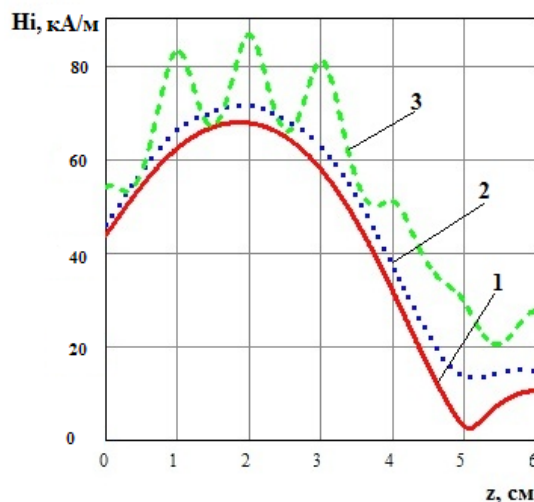
Уравнения (5)–(10) дают математическую модель для определения магнитного поля вблизи индуктора с обратным витком.

С помощью созданной компьютерной программы [7] проведено моделирование поведения амплитуды магнитного поля в индукторе, имеющем следующие параметры: $R_{\text{ц}} = 20$ мм; $a = a_1 = 10$ мм; $n = 4$; $I = 1$ кА амплитуда тока. На рис. 2–3 приведены результаты исследования поведения вертикальной составляющей и модуля вектора напряженности магнитного поля по высоте и радиусу индуктора с обратным витком. Видно, что вертикальная составляющая магнитного поля вносит решающий вклад в модуль вектора магнитного поля, кроме этого, по радиусу индуктора от его оси до $0,5R_{\text{ц}}$ модуль вектора напряженности магнитного поля меняется не более чем на 40 %, поэтому можно в горизонтальной плоскости при $r < 0,5R_{\text{ц}}$ считать его примерно однородным.

Для амплитуды вертикальной проекции напряженности магнитного поля на оси индуктора получено

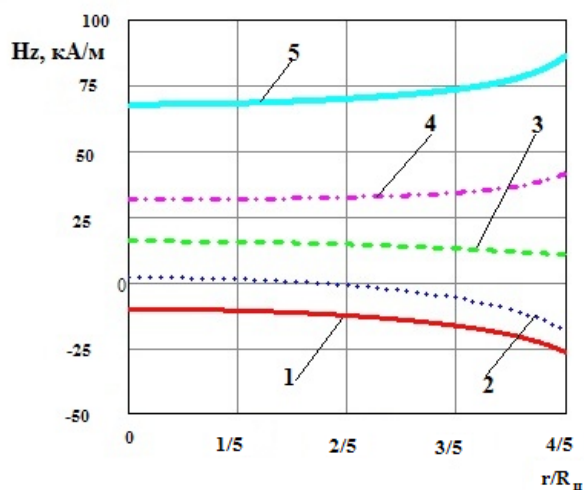


а

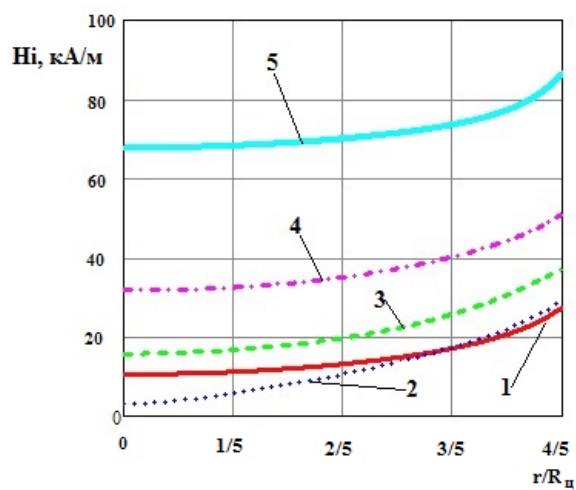


б

Рис. 2. Вертикальная составляющая (а) и модуль вектора напряженности магнитного поля (б) по высоте индуктора на разных расстояниях от его оси ($\varphi = 0$): 1 — $r = 0$; 2 — $r = R_y/2$; 3 — $r = 4R_y/5$



а



б

Рис. 3. Вертикальная составляющая (а) и модуль вектора напряженности магнитного поля (б) по относительному радиусу индуктора на разной его высоте ($\varphi = 0$): 1 — $z = a(n+1) + a_j$; 2 — $z = an + a_j$; 3 — $z = an + a_j/2$; 4 — $z = an$; 5 — $z = an/2$

уравнение регрессии в виде полинома четвертой степени при амплитуде тока через индуктор $I_0 = 1$ кА (z задается в метрах)

$$H_0(z) = 38613078016z^4 - 3461824256z^3 + 24046264z^2 + 1775109z + 44681.285, \text{ А/м.}$$

При этом средняя относительная ошибка аппроксимации составила около 3 %. Так как напряженность магнитного поля линейно зависит от тока через индуктор, поэтому распределение напряженности магнитного поля на оси данного индуктора для других токов можно записать как $H(z) = H_0(z) \cdot I/I_0$.

Моделирование положения равновесия во взвешенном состоянии цилиндрического тела в индукторе с обратным витком. Нагреваемый металл или капля расплава в индукторе будет удерживаться во взвешенном состоянии при условии, что напряженность поля под телом будет больше напряженности поля над ним. Электромагнитное давление на металл при ярко выраженном поверхностном эффекте проникновения поля в проводник выражается

формулой [1; 2] $P_{\text{эм}} = \mu_0 H^2 / 4$ Па, где H — амплитуда напряженности магнитной составляющей поля на поверхности металла, А/м; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ В·с/(А·м) магнитная постоянная. Из формулы видно, что электромагнитное давление на металл полностью определяется напряженностью магнитного поля. Кроме этого, так как напряженность магнитного поля в индукторе пропорциональна току, то электромагнитное давление на металл пропорционально квадрату силы тока.

Зная магнитное поле, можно проанализировать характер движения и положение металла при его удержании во взвешенном состоянии в индукторе. Рассмотрим поведение в индукторе немагнитного цилиндрического тела диаметром d и высотой h_0 . Считаем, что положительное направление силы направлено вертикально вверх. Начало координат находится на оси основания нижнего торца цилиндрической катушки индуктора (рис. 4а). Пусть положение тела определяется координатой z . На цилиндрическое тело действует электромагнитная сила

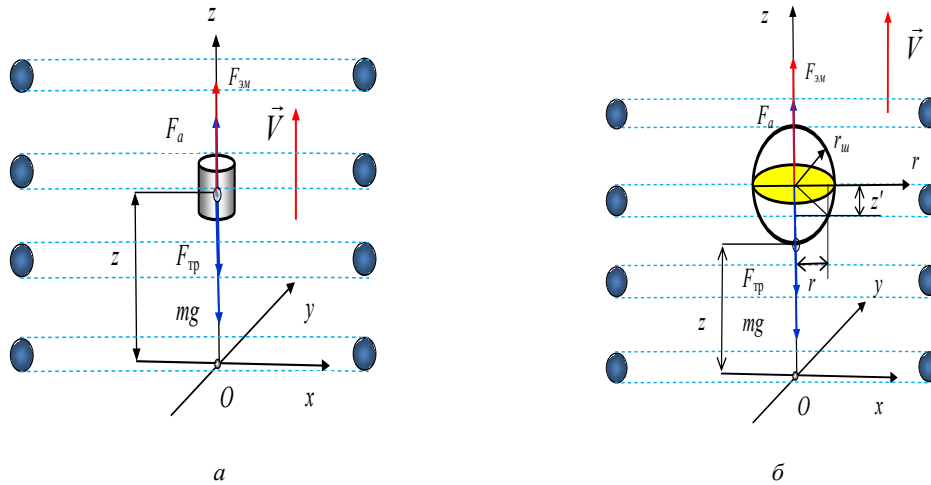


Рис. 4. Основные силы, действующие в индукторе: а — на цилиндрическое тело; б — на шарообразное тело

$$\vec{F}_{эм} = \vec{P}_{эм} S = \frac{\mu_0 S}{4} [H^2(z) - H^2(z + h_0)], \quad (11)$$

сила тяжести $m_0 \vec{g}$, сила Архимеда $\vec{F}_a = m_0 \vec{g} (\rho_{ж} / \rho_0)$ и сила сопротивления среды направленная в противоположную сторону движения тела

$$F_{тр} \frac{c_x \rho_{ж} S_0}{2} \left(\frac{dz}{dt} \right)^2.$$

Уравнение одномерного движения тела с учетом воздействия данных сил можно записать как

$$\frac{d^2 z}{dt^2} m_0 = F_{эм} - g m_0 \left(1 - \frac{\rho_{ж}}{\rho_0} \right) - \text{sign} \left(\frac{dz}{dt} \right) \frac{c_x \rho_{ж} S_0}{2} \left(\frac{dz}{dt} \right)^2, \quad (12)$$

где c_x — коэффициент сопротивления движению тела; $m_0 = \rho_0 h_0 \pi d^2 / 4$ — масса тела; $\rho_0, \rho_{ж}$ плотность металла и окружающей среды соответственно; $S = \pi d^2 / 4$ — площадь воздействия электромагнитного давления; S_0 — площадь контакта поверхности гидравлического трения («миделево сечение»).

Найдем положение тела, при котором наступит его равновесие в вертикальном неоднородном электромагнитном поле. Учитывая, что динамические составляющие равны нулю ($z''(t) = 0, z'(t) = 0$), получим выражение для равнодействующей силы на цилиндрическое тело находящееся в индукторе, в зависимости от его положения

$$F(z) = \frac{\mu_0 m_0}{4 \rho_0 h_0} (H(z)^2 - H(z + h_0)^2) - m_0 g \left(1 - \frac{\rho_{ж}}{\rho_0} \right).$$

При неоднородном поле $H(z)$ положения равновесия тела определяются корнями уравнения

$$\frac{\mu_0}{4 \rho_0 h_0} (H(z)^2 - H(z + h_0)^2) - g \left(1 - \frac{\rho_{ж}}{\rho_0} \right) = 0. \quad (13)$$

Напряженность магнитного поля на оси индуктора задавалась в виде полинома заданной степени. Нелинейное уравнение (13) решалось итерационным

методом, находились действительные корни большие или равные нулю, которые и определяют положения равновесия тела находящегося во взвешенном состоянии в индукторе.

С помощью созданной компьютерной программы [7] проведено моделирование поведения амплитуды напряженности магнитного поля и положения равновесия тела в индукторе, имеющем следующие параметры: $R_{ц} = 20$ мм — радиус цилиндрического индуктора; $a = a_1 = 10$ мм; $n = 4$; $n_{обр} = 1$. Общая высота индуктора $L = na + a_1 + n_{обр} a = 60$ мм.

Для цилиндрических алюминиевых тел диаметром $d = 5$ мм ($\rho_0 = 2,7$ г/см³) получена зависимость равнодействующей силы по высоте индуктора (рис. 5).

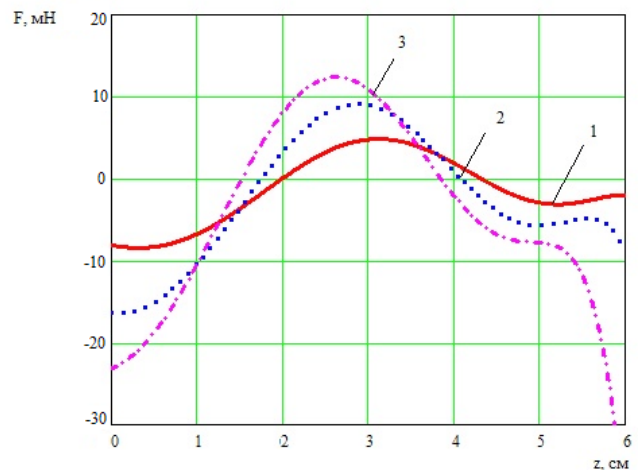


Рис. 5. Равнодействующая сила, воспринимаемая алюминиевым цилиндром диаметром $d = 5$ мм в зависимости от его положения в индукторе при высоте цилиндра: 1 — $h_0 = 5$ мм; 2 — $h_0 = 10$ мм; 3 — $h_0 = 15$ мм

Имеется два положения равновесия для алюминиевых тел высотой: для $h_0 = 5$ мм ($m_0 = 0,265$ г), $z_0 = 43$ мм и $z_1 = 20$ мм; для $h_0 = 10$ мм ($m_0 = 0,53$ г), $z_0 = 40,8$ мм и $z_1 = 17,5$ мм; для $h_0 = 15$ мм ($m_0 = 0,795$ г), $z_0 = 38,5$ мм и $z_1 = 15,2$ мм. При заданных условиях расчета положение равновесия тела возможно вблизи второго и четвертого витка индуктора. Рассмотрим

более подробно характер равнодействующей силы вблизи точек положения равновесия (см. рис. 5). Видно, что при отклонении тела из первой точки равновесия вниз ($z < z_1$) или вверх ($z > z_1$) равнодействующая сила $F(z)$ не возвращает цилиндр в положение равновесия, то есть оно является неустойчивым. Устойчивым является положение равновесия, находящееся вблизи минимума магнитного поля расположенное около четвертого витка индуктора (точка z_0).

На рис. 6. показаны результаты компьютерного моделирования положения точек равновесия тела от тока индуктора для двух алюминиевых цилиндрических тел имеющих разную высоту h_0 , находящихся в воздухе и воде. Видно, что есть некое значение тока $I_{\min}$, ниже которого поле не удерживает цилиндрическое тело данных размеров. Значение $I_{\min}$ снижается с увеличением плотности окружающей среды и умень-

шением h_0 . Видно также, что начиная с некоторого значения тока $I_{\max}$ при его увеличении положение тела меняется незначительно.

Необходимо отметить, что положение точек равновесия тела не зависит от диаметра цилиндра, кроме этого, с увеличением плотности удерживаемого в индукторе металла кривая равнодействующей силы (см. рис. 5) опускается в сторону отрицательных значений. При некоторой критической плотности $\rho_{кр}$ в решении уравнения (13) пропадают действительные положительные корни, что говорит о невозможности удержания тела электромагнитными силами. На рис. 7 показана расчетная зависимость положения точек равновесия для цилиндрического тела ($h_0 = 5$ мм, $d = 5$ мм) от разности плотностей материала из которого оно изготовлено и окружающей среды при разных токах индуктора. Видно, что для каждого тока существует своя

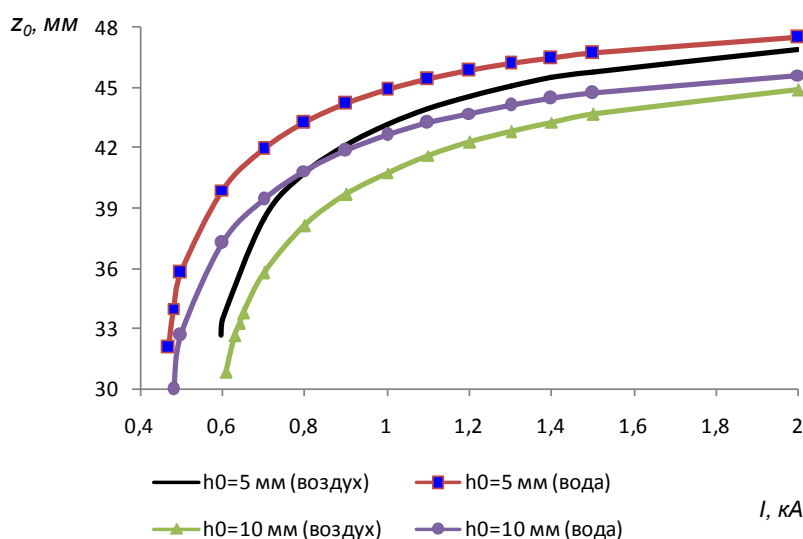


Рис. 6. Положение точек равновесия тела от тока индуктора для двух алюминиевых цилиндрических тел, имеющих разную высоту и находящихся в воздухе и воде

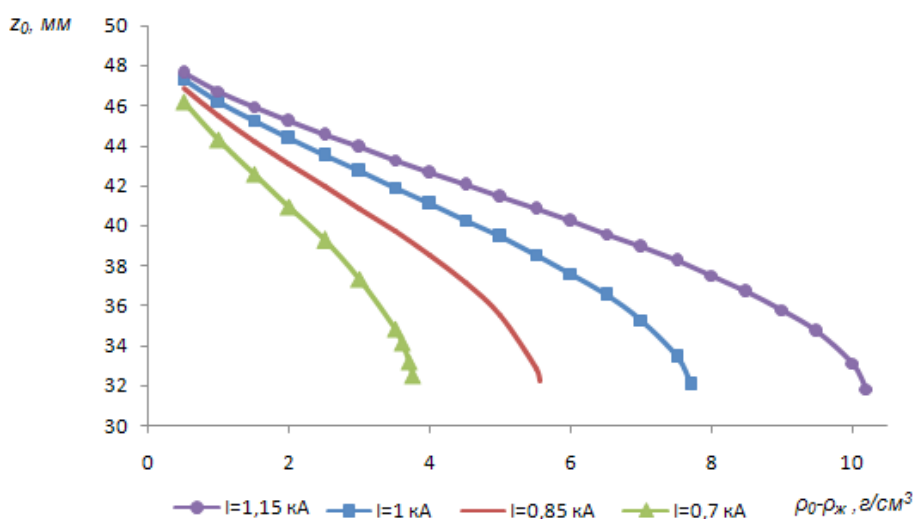


Рис. 7. Положение точек равновесия цилиндрического тела от плотности материала, из которого оно изготовлено при разных токах индуктора

критическая плотность, например, при $I = 1$ кА можно удерживать только тела плотностью меньшей $7,7$ г/см³, то есть теоретически невозможно удержать медный цилиндр данных размеров ($\rho_0 = 8$ г/см³). Установлено, что рассматриваемая критическая плотность пропорциональна квадрату силы тока $\rho_{кр} \sim I^2$.

Моделирование положения равновесия во взвешенном состоянии шарообразного тела в индукторе с обратным витком. Найдем положение шарообразного тела радиуса $r_{ш} = d_{ш}/2$, при котором наступит его равновесие в электромагнитном поле. Как и в случае цилиндрического тела на шарообразное тело действуют электромагнитная сила, сила тяжести, сила Архимеда и сила сопротивления среды направленная в противоположную сторону движения тела (рис. 4б).

Пусть динамические составляющие сил равны нулю, тогда выражение для равнодействующей силы, на тело находящееся в индукторе, в зависимости от его положения можно записать как

$$F(z) = F_{эм}(z) - m_0 g \left(1 - \frac{\rho_{ж}}{\rho_0} \right),$$

где $m_0 = (4/3)\pi r_{ш}^3 \rho_0$ — масса шарообразного тела.

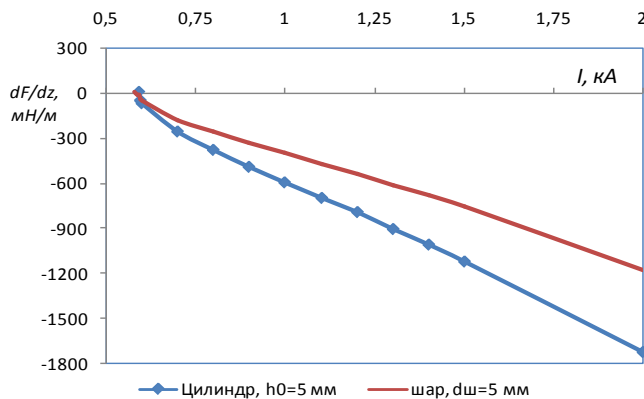
При известном локальном электромагнитном давлении на металл полную электромагнитную силу в зависимости от положения шарообразного тела можно найти как

$$F_{эм}(z) = 2\pi \int_0^{r_{ш}} P(z, r) r \cdot dr,$$

где $P(z, r) = \frac{\mu_0}{4} (H^2(z + r_{ш} - z') - H^2(z + r_{ш} - z' + 2z'))$ — локальное электромагнитное давление. С учетом того, что $z' = \sqrt{r_{ш}^2 - r^2}$ получим

$$F(z) = \frac{\pi \mu_0}{2} \int_0^{r_{ш}} (H^2(z + r_{ш} - \sqrt{r_{ш}^2 - r^2}) - H^2(z + r_{ш} + \sqrt{r_{ш}^2 - r^2})) \times r \cdot dr - m_0 g \left(1 - \frac{\rho_{ж}}{\rho_0} \right).$$

Равновесие шарообразного тела определяются корнями уравнения



$$\frac{\mu_0}{2} \int_0^{r_{ш}} (H^2(z + r_{ш} - \sqrt{r_{ш}^2 - r^2}) - H^2(z + r_{ш} + \sqrt{r_{ш}^2 - r^2})) \times r \cdot dr - \frac{4}{3} r_{ш}^3 \rho_0 g \left(1 - \frac{\rho_{ж}}{\rho_0} \right) = 0. \quad (14)$$

Получена зависимость равнодействующей силы по высоте индуктора для шарообразных алюминиевых тел с диаметром $d_{ш} = 5$ мм ($m_0 = 0,177$ г), $d_{ш} = 10$ мм ($m_0 = 1,41$ г) и $d_{ш} = 12,5$ мм ($m_0 = 2,76$ г) (рис. 8). Положения равновесия для шарообразных тел очень близки с положениями равновесия для цилиндрических тел при $d_{ш} = h_0$. Была проанализирована производная равнодействующей силы в точке равновесия z_1 при изменении амплитуды тока через индуктор. Производная должна быть отрицательной и чем выше по модулю, тем равновесие будет более устойчивым.

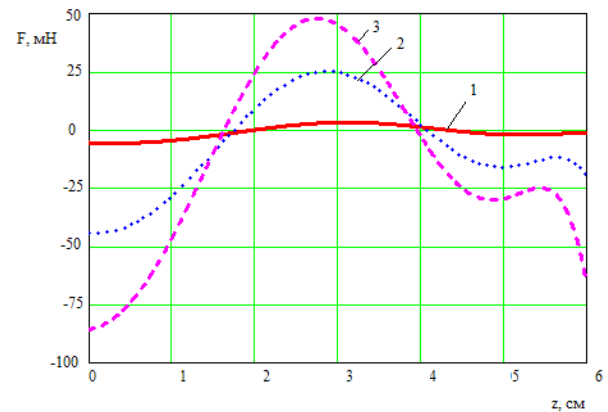


Рис. 8. Равнодействующая сила, воспринимаемая алюминиевым шаром, находящимся в воздухе, в зависимости от его положения по высоте индуктора при: 1 — $d_{ш} = 5$ мм; 2 — $d_{ш} = 10$ мм; 3 — $d_{ш} = 12,5$ мм

Из рис. 9 видно, что производная равнодействующей силы в точке равновесия z_1 при уменьшении тока падает практически линейно и при $I = I_{мин}$ $dF(z_1)/dz = 0$. Видно также, что для цилиндрического тела $|dF(z_1)/dz|$ примерно в 1,4 раза больше, чем для шарообразных. Поэтому при одинаковом токе индуктора положение равновесия для цилиндрических тел более устойчивое, чем для шарообразных.

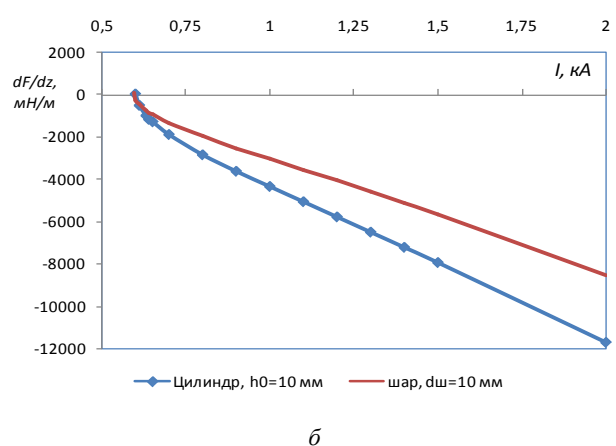


Рис. 9. Производная в точке равновесия для цилиндрического и шарообразного тела от тока через индуктор при: а — $h_0 = d_{ш} = 5$ мм; б — $h_0 = d_{ш} = 10$ мм

Заключение.

1. Создана математическая модель поведения амплитуды напряженности магнитного поля в высокочастотном цилиндрическом индукторе с обратным витком. Предложен алгоритм расчета положения равновесия во взвешенном состоянии цилиндрического и сферического тела.

2. Установлено, что положение равновесия металлического тела во взвешенном состоянии в индукторе зависит от его конструкции (от количества витков, от расстояния между витками, от положения обратного витка и др.), от протекающего через индуктор тока, от формы и размеров тела.

3. Существует критическая плотность материала, выше которой индуктор, имеющий включенный последовательно с основной катушкой противовиток с заданным током, не может удерживать металлическое тело данной формы. Критическая плотность материала пропорциональна квадрату амплитуды силы тока, протекающего через индуктор. Есть некое минимальное значение тока через индуктор ниже которого поле не удерживает тело, заданной плотности и данных размеров.

4. Установлено, что при одномерном движении тел и заданном токе индуктора положение равновесия для цилиндрического тела более устойчивое, чем для шарообразного, при одинаковых диаметре и высоте цилиндра и диаметре шара.

Библиографический список

1. Фогель, А. А. Индукционный метод удержания жидких металлов во взвешенном состоянии / А. А. Фогель. Л. : Машиностроение, 1979. 104 с.

2. Глебовский, В. Г. Плавка металлов и сплавов во взвешенном состоянии / В. Г. Глебовский, В. Т. Бурцев. М. : Metallurgia, 1974. 176 с.

3. Ячиков, И. М. Моделирование поведения магнитного поля в ванне ДППТ при разных конструкциях токоподвода к подовому электроду / И. М. Ячиков, И. В. Портнова, Р. Ю. Заляутдинов // Математическое и программное обеспечение в промышленной и социальной сферах : междунар. сб. науч. тр. Магнитогорск : Изд-во Магнитогор. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2012. С. 183–190.

4. Ячиков, И. М. Исследование магнитного поля в ванне дуговой печи постоянного тока при разной форме токоподводящей шины к подовому электроду / И. М. Ячиков, Р. Ю. Заляутдинов // Изв. вузов. Черная металлургия. 2014. № 3. С. 58–63.

5. Ячиков, И. М. Моделирование поведения магнитного поля и положения тела во взвешенном состоянии в высокочастотном индукторе с обратным витком / И. М. Ячиков, К. Н. Вдовин, М. О. Шмелев // Мат. и програм. обеспечение систем в пром. и социал. сферах. 2013. № 1. С. 47–53.

6. Ячиков, И. М. Положение равновесия тела во взвешенном состоянии в высокочастотном индукторе с обратным витком / И. М. Ячиков // Электротехн. системы и комплексы. 2014. № 3. С. 66–72.

7. Программа «Моделирование напряженности магнитного поля в индукторе с противовитком» / И. М. Ячиков, М. О. Шмелев. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2014614306.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ И СРЕДНЕИНТЕГРАЛЬНЫХ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ДУГУ В ТРЕХФАЗНОЙ ДУГОВОЙ ПЕЧИ

Создана математическая модель для определения основных локальных и среднеинтегральных электромагнитных сил, действующих на дуговые разряды в условиях трехфазной дуговой печи. Показано, что в трехфазной дуговой печи при расстояниях между электродами меньше 1,5–2,5 длин дуги наиболее существенное влияние на поведение электрической дуги и ее форму оказывают силы электромагнитного взаимодействия между токами, протекающими через дуги и графитированные электроды, а при больших расстояниях — силы взаимодействия дуг с токами, протекающими через жидкий металл.

В настоящее время трехфазные электродуговые печи применяются для выплавки черных, цветных металлов и их сплавов. Источником тепла в них служат электрические дуги. От положения, формы и динамики дуги во многом зависит тепловое состояние металла и шлака, стойкость футеровки печи. Эти факторы необходимо учитывать при конструировании и эксплуатации печей, а также автоматизации их работы.

Дуга представляет собой легкоподвижный проводник, на который действуют электромагнитные силы: со стороны токов, протекающих между дугами через жидкий металл; со стороны токов, протекающих через графитированные электроды и другие дуги; сжатия дуги посредством пинч-эффекта; выпрямляющие дугу при ее изгибе. Поведение и влияние каждой из этих четырех сил на электрическую дугу рассматривалось как отечественными, так и зарубежными исследователями.

Немецкий инженер И. Вочке определил силу сжатия дуги посредством пинч-эффекта и силу, действующую на металл, в трехфазной дуговой печи со стороны тока дуги, назвав ее угловой силой, он установил, что наибольшее ее значение достигается в зонах привязки дуги на расплав [1]. А. В. Егоров получил зависимость средней электромагнитной силы F_M взаимодействия дуги с полем тока, протекающего через жидкий металл перпендикулярно току дуги, и зависимость средней силы F_d взаимодействия дуги с током, протекающим через соседнюю дугу и параллельный графитированный электрод [2]. Им было также показано, что F_d составляет 2–5 % от F_M и снижается с уменьшением длины дуги.

В работах [3–5] было показано, что в трехфазной печи при изменении полярности тока возникают две различные формы дуги, которые ведут себя по-разному. При их усреднении во времени было установлено, что дуги отклоняются от вертикали на угол $\theta = 45\text{--}65^\circ$. Ю. М. Миронов рассмотрел силы, действующие на электрическую дугу в дуговой печи постоянного тока от горизонтального и вертикального участков токоподвода. Им получены зависимости для определения сил на дугу у поверхности металла (максимальное значение) и у конца электрода (минимальное значение),

приведено значение угла отклонения дуги от зеркала ванны [6].

При рассмотрении этих и других работ осталось не совсем понятным, как получены формулы для расчета некоторых сил, нет детального анализа поведения и роли отдельных электромагнитных сил, воздействующих на дугу в условиях трехфазной печи переменного тока в зависимости от расположения и геометрии электродов, токов, длин дуг и прочих параметров. Однако для электрометаллургической теории и практики важно знать методы расчета как локальных электромагнитных сил, действующих на элементы дуги, так и среднеинтегральных сил, действующих на дугу.

Целью данной работы является описание математической модели для расчета основных электромагнитных локальных и среднеинтегральных сил, действующих на дугу, анализ влияния этих сил на поведение электрической дуги в условиях трехфазной дуговой печи.

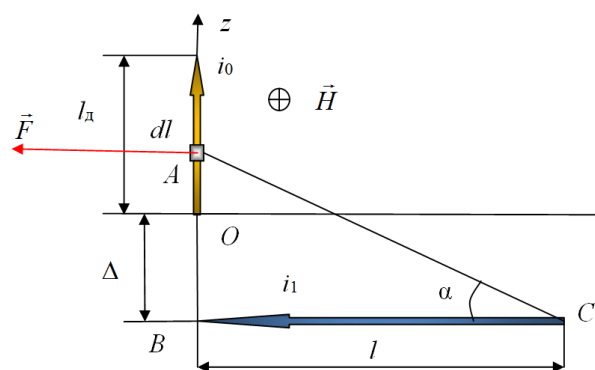


Рис. 1. К расчету напряженности магнитного поля и электромагнитной силы на проводник со стороны перпендикулярного проводника конечной длины

Рассмотрим электромагнитную силу, действующую на столб дуги, от токов, протекающих через жидкий металл в трехфазной дуговой печи переменного тока. Будем считать, что оси дуг горят перпендикулярно поверхности металлической ванны (оси их совпадают с осями электродов), действующее значение линейных токов одинаково. Электрическая ось токопроводящего слоя между дугами расположена на глубине Δ от поверхно-

сти металла [2]. Для жидкой стали эту величину можно принять примерно равной половине глубине проникновения поля промышленной частоты $\approx \Delta_0 / 2 = 3,2-3,6$ см, где $\Delta_0 = \sqrt{\rho / (\pi \mu_0 \nu)}$, ρ — удельное электросопротивление жидкой стали; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (В · с)/(А · м) — магнитная постоянная; $\nu = 50$ Гц — промышленная частота.

Проанализируем электромагнитную силу, действующую на ток дуги i_0 со стороны тока, протекающего через металл от другой дуги i_1 (рис. 1).

Для этого найдем напряженность магнитного поля в точке A , находящейся на дуге длиной l_d , создаваемого прямым горизонтальным отрезком провода CB , длиной l , через который протекает ток i_1 . Ее можно определить как [6]

$$H = \frac{i_1}{4\pi(\Delta + z)} (\cos(\alpha) - \cos(\alpha_0)).$$

Вектор напряженности магнитного поля перпендикулярен плоскости ABC (см. рис. 1). Подставляя $\alpha_0 = \pi/2$ и

$$\cos(\alpha) = \frac{l}{\sqrt{l^2 + (\Delta + z)^2}},$$

получим

$$H = \frac{i_1}{4\pi(\Delta + z)} \frac{l}{\sqrt{l^2 + (\Delta + z)^2}}. \quad (1)$$

Сила, действующая на элемент дуги dl в точке A , совпадает с направлением тока i_1 , и модуль ее определяется как $dF = \mu_0 i_0 dl \times H$. Локальная электромагнитная сила, действующая на единицу длины дуги

$$\frac{dF}{dl} = f = \frac{i_1 i_0 \mu_0}{4\pi(\Delta + z)} \frac{l}{\sqrt{l^2 + (\Delta + z)^2}}. \quad (2)$$

Это выражение совпадает с формулой, с полученной Ю. М. Мироновым [6]. Полная сила, действующая на проводник l_d , равна

$$F = \frac{\mu_0 i_1 i_0 l_d}{\pi} \int \frac{1}{\Delta + z \sqrt{l^2 + (\Delta + z)^2}} dz \quad (3)$$

Интеграл в этом выражении можно взять по частям, получим

$$F = \frac{\mu_0 i_1 i_0}{4\pi} \ln \left[\frac{(\sqrt{l^2 + \Delta^2} + l)(\Delta + l_d)}{\Delta(\sqrt{(l + \Delta)^2 + l^2} + l)} \right]. \quad (4)$$

Найдем токи, протекающие через жидкий металл в трехфазной дуговой печи переменного тока. Считаем, что в электрической схеме замещения три фазы приемника имеют одинаковые фазные сопротивления $Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA}$, которые соединены по схеме «треугольник». Тогда, независимо от характера нагрузки, напряжение на каждой фазе приемника равно линейному напряжению $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$, но фазные и линейные токи не равны между собой [7].

При заданном напряжении и сопротивлении фаз нагрузки фазные токи можно определить как

$$i_{AB} = \frac{U_{AB}}{Z_{AB}} = I \sin(\omega t), \quad i_{BC} = \frac{U_{BC}}{Z_{BC}} = I \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}),$$

$$i_{CA} = \frac{U_{CA}}{Z_{CA}} = I \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}),$$

где I — амплитудное значение фазного тока. Соответственно линейные токи: $i_1 = i_A = i_{AB} - i_{CA}$; $i_2 = i_C = i_{CA} - i_{BC}$; $i_3 = i_B = i_{BC} - i_{AB}$. Сила тока, проходящего через фазу A : $i_A = i_1 = i_{AB} - i_{CA} = I\sqrt{3}\sin(\omega t - \pi/6)$.

Рассмотрим электромагнитную силу, действующую на ток дуги $i_1 = i_A$ со стороны трех фазных токов i_{AB} , i_{BC} , i_{CA} , протекающих через металл. Результирующая сила есть векторная сумма трех сил F_{AB} , F_{BC} , F_{CA} , модуль каждой из которых зависит от среднего значения произведения токов [8]:

$$\frac{1}{T} \int_0^T i_{AB} i_A dt = \frac{\sqrt{3}}{4} I^2, \quad \frac{1}{T} \int_0^T i_{CA} i_A dt = -\frac{\sqrt{3}}{4} I^2, \\ \frac{1}{T} \int_0^T i_{BC} i_A dt = 0.$$

Данные выражения говорят о том, что на дугу фазы A действуют только силы со стороны фазных токов i_{AB} и i_{CA} . Направление сил $\vec{F}_{AB}$, $\vec{F}_{CA}$ и их равнодействующая $\vec{F}_M$, а также направления подобных сил на дуги других фаз показаны на рис. 2. Модуль равнодействующей силы пропорционален $\sqrt{3}I^2/4$. С учетом действующего значения линейного тока $I_{\text{дл}} = \sqrt{3}I/4$, получим среднеинтегральное значение силы, действующей на дугу

$$F_M = \frac{\mu_0 I_{\text{дл}}^2}{8\sqrt{3}\pi} \ln \left[\frac{(\sqrt{l^2 + \Delta^2} + l)(\Delta + l_d)}{\Delta(\sqrt{(l + \Delta)^2 + l^2} + l)} \right]. \quad (5)$$

и локальное среднее значение электромагнитной силы, действующей на единицу длины дуги

$$f_M(z) = \frac{\mu_0 I_{\text{дл}}^2}{8\sqrt{3}\pi} \frac{1}{(\Delta + z)} \frac{l}{\sqrt{l^2 + (\Delta + z)^2}}.$$

Формула (5) совпадает с полученной в работе [2] с точностью до коэффициента перед логарифмом.

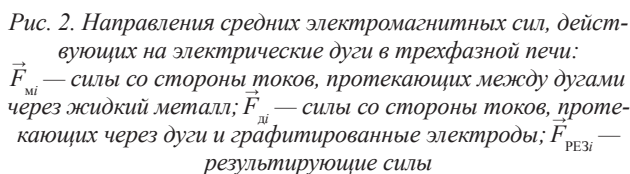
Рассмотрим вторую электромагнитную силу, действующую на столб дуги — силу электромагнитного взаимодействия с другими дугами и токами, протекающими через графитированные электроды. Она действует на ток дуги i_0 со стороны другого тока i_1 , протекающего по графитированному электроду длиной $l_{\text{эл}}$ и дуге, длиной l_d (рис. 3).

Найдем напряженность магнитного поля в точке A , находящейся на дуге, создаваемого прямым вертикальным отрезком провода BC , длиной $l_d + l_{\text{эл}}$, через который протекает ток i_1 . Вектор напряженности магнитного поля перпендикулярен плоскости ABC . Подставляя в формулу (1)

ПОЛУЧИМ

Сила, действующая на элемент дуги dl в точке A , перпендикулярна направлению тока i_1 и модуль ее определяется как $dF = \mu_0 i_0 dl \times H$. Локальная электромагнитная сила, действующая на единицу длины дуги

$$F_{\text{д}} = \frac{\mu i i}{\pi l} \int_{l_{\text{д}}}^l \left(\frac{z}{\sqrt{l+z}} + \frac{l_{\text{д}} + l_{\text{эд}} - z}{\sqrt{l+l_{\text{д}}+l_{\text{эд}}-z}} \right) dz \quad (7)$$

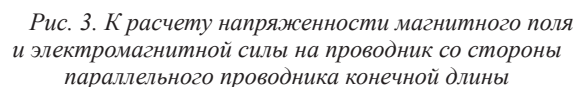

$$\frac{1}{T} \int_0^T i_1 i_2 dt = -\frac{I^2}{2} \quad \frac{1}{T} \int_0^T i_1 i_3 dt = -\frac{I^2}{2}$$

Силы F_{12} и F_{13} направлены под углом 60° , поэтому векторная сумма этих сил F пропорциональна $\sqrt{3}I/2$. Таким образом, можно получить среднюю результирующую силу на дугу с учетом действующего значения линейного тока $I_{\text{ср}} = I/\sqrt{2}$

и локальную электромагнитную силу, действующую на единицу длины дуги

Формула (9) совпадает с полученной в работе [2] с точностью до коэффициента перед скобкой и знаков сложения и вычитания.

Из рис. 2 видно, что векторы $\vec{F}_m$ и $\vec{F}_d$ расположены под прямым углом, поэтому модуль равнодействующей силы $F_{\text{рез}} = \sqrt{F_m^2 + F_d^2}$. Она направлена под углом φ к прямой, проходящей через центр распада электродов и ось электрода.



При отклонении формы дуги от прямой линии возникает третья электромагнитная сила $\vec{F}_c$ взаимодействия тока дуги с собственным магнитным полем, которая старается выпрямить дугу. Эта сила вместе с центробежной компенсирует сумму сил $\vec{F}_m + \vec{F}_d$, во многом определяет средний угол отклонения θ и среднюю форму дуги. Подробно алгоритм расчета формы дуг был рассмотрен в работе [9]. На основе него создана компьютерная программа, позволяющая находить среднюю форму оси столба дуги по заданным геометрическим и технологическим параметрам горения дуг [10]. В алгоритме программы учитывается действие центробежной силы потока газа на форму оси

столба дуги. Однако эта сила не электромагнитной природы, поэтому ее рассмотрение мы опустим.

В работах [9; 10] показано, что в первом приближении форму дуги можно описать параболой $y = ax^2 / l_d^2$ (рис. 4), где a — горизонтальное отклонение дуги от вертикальной оси.

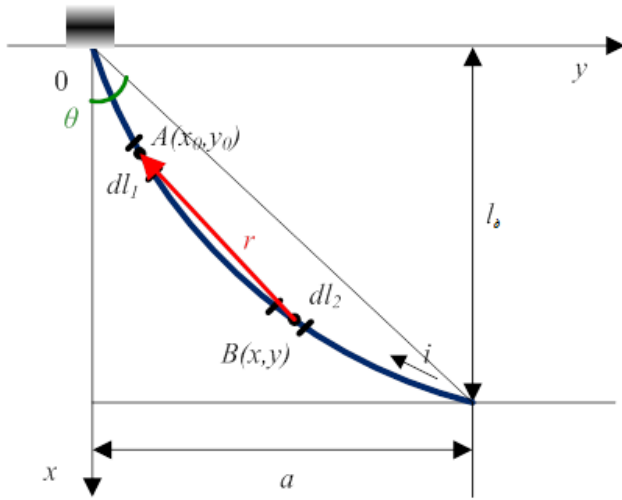


Рис. 4. К расчету силы взаимодействия дуги с собственным магнитным полем

Напряженность магнитного поля в точке A от тока i , проходящего через элемент dl_2 , находим по формуле Био — Савара — Лапласа

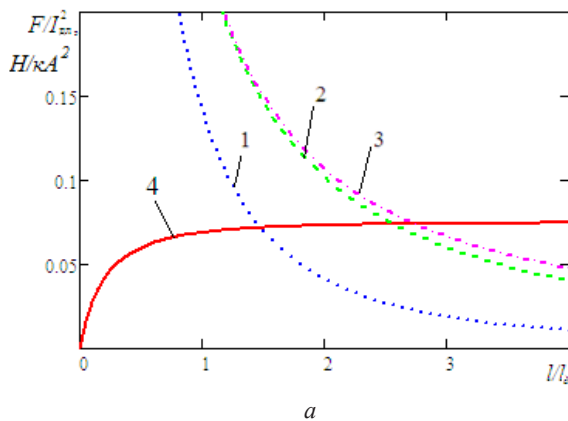
$$dH = \frac{i \cdot dl_2 \times r}{4\pi r^3},$$

где

$$\vec{r} = (x_0 - x, y_0 - y), \quad dl_2 = \left(1, \frac{2ax}{l_d^2}\right) dx,$$

$$|\vec{r}| = r = |\vec{BA}| = \sqrt{((x_0 - x)^2 + ((y_0 - y) + \bar{y}_0)^2)}.$$

Среднее геометрическое расстояние $\bar{y}_0$ площади сечения дуги в ее цилиндрической части от самой себя $\bar{y}_0 = 0,778r_0$, где r_0 — радиус дуги в цилиндрической части столба. Распишем векторное произведение



$$dl_2 \times dr = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ dx & \frac{2ax}{l_d^2} dx & 0 \\ x_0 - x & y_0 - y & 0 \end{vmatrix} =$$

$$= \vec{k} \left(y_0 - y - \frac{2ax(x_0 - x)}{l_d^2} \right) dx = \vec{k} \cdot \frac{a}{l_d^2} (x_0 - x)^2 dx,$$

$$dH = \frac{ia(x_0 - x)^2}{4\pi l_d^2 r^3} dx.$$

Полную напряженность магнитного поля в точке A от тока всей дуги получаем интегрированием

$$H = \frac{ia}{\pi l_d} \int_0^{l_d} \frac{x - x}{\left(x - x + \left(\frac{a}{l_d} |x - x| + \bar{y} \right) \right)} dx$$

Элементарная сила, действующая на элемент тока дуги dl_1 , находится в плоскости yOz , направлена перпендикулярно dl_1 , а ее модуль равен $dF = i\mu_0 dl_1 \times H$. Направление элемента дуги dl_1 определяется вектором

$$dl_1 = \left(1, \frac{2ax_0}{l_d^2}\right) dx_0.$$

Проекция сил, действующих на всю дугу $i = I_{дл}$,

$$F_x = \frac{I a \mu_0}{\pi l} \int_0^l \int_0^l \frac{ax_0}{l} \frac{x_0 - x}{\left(x_0 - x + \left(\frac{a}{l} x_0 - x + \bar{y}_0 \right) \right)} dx_0 \quad (10)$$

$$F_y = \frac{I a \mu_0}{\pi l} \int_0^l \int_0^l \frac{x_0 - x}{\left(x_0 - x + \left(\frac{a}{l} x_0 - x + \bar{y}_0 \right) \right)} dx_0 \quad (11)$$

Полная сила, отклоняющая дугу от вертикали $F_c = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$. К сожалению, интегралы, стоящие в выражениях (10)–(11), можно определить только численно.

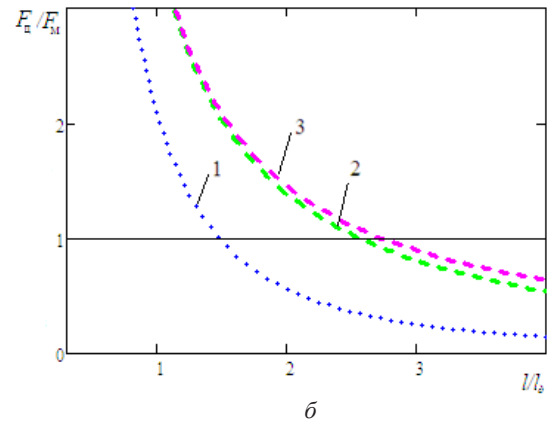


Рис. 5. Зависимости электромагнитных сил, деленных на квадрат тока $F_d / I_{дл}^2$ (линии 1–3); $F_m / I_{дл}^2$ (линия 4) (а) и соотношения сил F_d / F_m (б) от безразмерного расстояния между дугами при безразмерной длине электрода: 1 — $l_{эл} / l_d = 0$; 2 — $l_{эл} / l_d = 5$; 3 — $l_{эл} / l_d = 20$

Четвертая сила сжимает дугу в радиальном направлении посредством пинч-эффекта. Интегральное значение этой силы рассчитано во многих работах и ее можно записать как [5]

$$F_{\text{п}} = \frac{\mu_0 I_{\text{дл}}^2}{8\pi}. \quad (12)$$

Все рассмотренные электромагнитные силы пропорциональны квадрату действующего значения тока, поэтому для анализа характера зависимостей сил от длины дуги удобно выбирать комплекс $F/I_{\text{дл}}^2$. На рис. 5а показаны графики зависимости $F_{\text{д}}/I_{\text{дл}}^2$ от безразмерного расстояния между дугами при разных безразмерных длинах электрода. Величина $F_{\text{д}}/I_{\text{дл}}^2$ находится в пределах от 0,1 до 0,2 Н/кА² при $l/l_{\text{д}} \approx 1$, убывает с увеличением расстояния между дугами по закону близкому к обратной пропорциональности и существенно зависит от безразмерной длины электрода $l_{\text{эл}}/l_{\text{д}}$ в диапазоне от 0 до 5. На этом же рисунке приведена зависимость $F_{\text{м}}/I_{\text{дл}}^2$ от безразмерного расстояния между дугами, величина $F_{\text{м}}/I_{\text{дл}}^2$ находится в пределах от 0 до 0,08 Н/кА². Видно, что с увеличением расстояния между дугами от 0 до $l_{\text{д}}$, сила $F_{\text{м}}$ резко возрастает от 0 до некоторого значения и далее увеличивается очень незначительно. На рис. 5б показаны зависимости соотношения сил $F_{\text{д}}/F_{\text{м}}$ от безразмерного расстояния между дугами. Видно, что при относительном расстоянии между дугами менее 1,5–2,5 более существенной оказывается сила $F_{\text{д}}$, чем $F_{\text{м}}$.

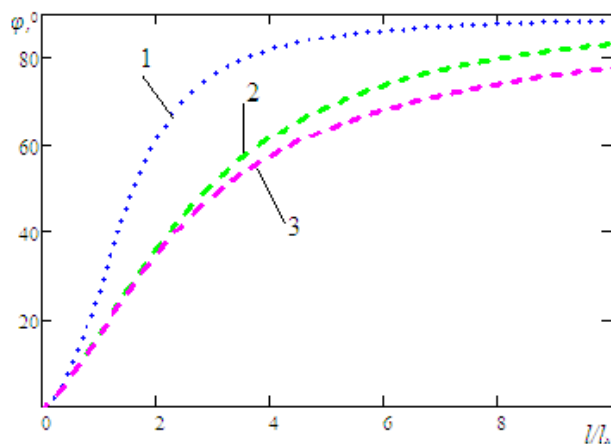


Рис. 6. Зависимость угла φ между средним значением результирующей силы и прямой, проходящей через центр распада электродов и ось электрода, от безразмерного расстояния между дугами при безразмерной длине электрода: 1 — $l_{\text{эл}}/l_{\text{д}} = 0$; 2 — $l_{\text{эл}}/l_{\text{д}} = 5$; 3 — $l_{\text{эл}}/l_{\text{д}} = 20$

Направление результирующей средней силы $\vec{F}_{\text{рез}}$ определяется углом φ , который зависит от соотношения модулей сил $|\vec{F}_{\text{м}}|$ и $|\vec{F}_{\text{д}}|$. На рис. 6 показано поведение угла φ в зависимости от безразмерного расстояния между дугами при разных безразмерных длинах электрода в трехфазной дуговой печи. Видно, что дуги могут существенно отклоняться в сторону от прямой, соединяющей центр распада электродов и ось электрода. Например, для печи, имеющей сред-

нюю длину дуги 0,2 м и расстояние между электродами 0,6 м, угол φ может иметь значение 45–60°.

На рис. 7 представлена зависимость выпрямляющей силы, деленной на квадрат тока $F_{\text{с}}/I_{\text{дл}}^2$ от безразмерного отклонения дуги от вертикальной оси. Видно, что при отклонении дуги $\theta = 0-45^\circ$ ($a/l_{\text{д}} = 0-1$) сила $F_{\text{с}}$ в зависимости от длины дуги имеет максимальное значение при $a/l_{\text{д}} = 0,1-0,4$. Средняя выпрямляющая дугу сила $\vec{F}_{\text{с}}$ по величине сопоставима с силами $\vec{F}_{\text{м}}$ и $\vec{F}_{\text{д}}$.

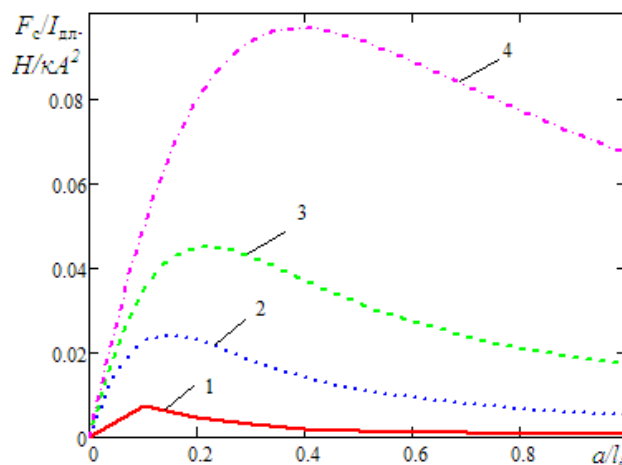


Рис. 7. Зависимость выпрямляющей силы, деленной на квадрат тока, от безразмерного отклонения дуги от вертикальной оси при длине дуги l : 1 — 0,1 м; 2 — 0,2 м; 3 — 0,3 м; 4 — 0,5 м

Сила, сжимающая дугу, деленная на квадрат тока, имеет относительно большое значение 0,05 Н/кА², то есть ее значение сравнимо с остальными тремя силами, однако она не оказывает существенного влияния на отклонение оси столба дуги от вертикали.

Таким образом, получена математическая модель для расчета основных локальных электромагнитных сил, действующих на дугу, и оценки их среднеинтегральных значений в условиях трехфазной дуговой печи. Показано направление векторов электромагнитных сил и приведена оценка их средних значений в зависимости от токов дуг и геометрических параметров печи. Установлено, что наиболее существенное влияние на среднее отклонение электрической дуги от вертикали и форму дуг в трехфазной дуговой печи оказывают электромагнитные силы от токов, протекающих через дуги и графитированные электроды, а также электромагнитные силы от токов, протекающих через жидкий металл. При расстоянии между дугами менее 1,5–2,5 длины дуги наибольшее влияние оказывает сила электромагнитного взаимодействия между дугами, а при больших расстояниях — значительное влияние на форму дуги оказывает сила взаимодействия дуги с токами, протекающими через жидкий металл.

Библиографический список

1. Вочке, И. Электрическая плавильная печь / И. Вочке; пер. с нем. Р. М. Четыркина; под ред. А. Н. Соколова.

Л. ; М. : Онти. Глав. ред. лит. по черной металлургии, 1936. 540 с.

2. Егоров, А. В. Электроплавильные печи черной металлургии / А. В. Егоров. М. : Металлургия, 1985. 280 с.

3. Макаров, А. Н. Теплообмен в дуговых сталеплавильных печах / А. Н. Макаров. Тверь : ТГТУ, 1998. 184 с.

4. Макаров, А. Н. Оптимальные тепловые режимы дуговых сталеплавильных печей / А. Н. Макаров, А. Д. Свенчанский. М. : Энергоатомиздат, 1992. 96 с.

5. Никольский, Л. Е. Тепловая работа дуговых сталеплавильных печей / Л. Е. Никольский, В. Д. Смолыренко, Л. Н. Кузнецов. М. : Металлургия, 1981. 320 с.

6. Миронов, Ю. М. Электрическая дуга в электротехнологических установках : монография / Ю. М. Миронов. Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2013. 238 с.

7. Общая электротехника / под. ред. В. С. Пантюшина. М. : Высш. шк., 1970. 568 с.

8. Ячиков, И. М., Зарецкая Е. М. Анализ поведения магнитного поля вблизи электродов дуговых печей посредством математического моделирования / И. М. Ячиков, Е. М. Зарецкая // Изв. вузов. Черная металлургия. 2011. № 1. С. 18–21.

9. Ячиков, И. М. Математическое моделирование формы дуг при их электромагнитном взаимодействии. Сообщение 1. Форма двух дуг постоянного тока, горящих между катодами и токопроводящей поверхностью / И. М. Ячиков, Е. М. Костылева // Изв. вузов. Черная металлургия. 2014. № 1. С. 59–64.

10. Программа «Взаимодействие дуг» / И. М. Ячиков, Е. М. Костылева. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. № 2013619388.

ОБЗОР РУССКОЯЗЫЧНЫХ ТЕЗАУРУСОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСЧЕТА СЕМАНТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ МЕЖДУ НАУЧНЫМИ ПУБЛИКАЦИЯМИ

Сравнение русскоязычных тезаурусов PyТез, RussNet, Yet Another RussNet (YARN), Руссикон и wordnet.ru. Рассматриваются требования к тезаурусам для решения задачи расчета семантической близости между научными публикациями.

Введение. Существует большое обилие электронных научных публикаций в открытых источниках в сети Интернет, а также в специализированных электронных научных библиотеках, которые ежедневно пополняются новыми научными статьями. Только в системе Scopus содержатся публикации более 15 000 периодических изданий, не говоря уже о количестве публикаций. В результате больших объемов информации возникает диспропорция между средствами анализа научных публикаций в электронных хранилищах и объемами информации. Все сложнее и сложнее простым перебором всех научных публикаций найти публикации по некоторой тематике или подобные публикации по имеющейся. Поэтому постоянно требуется совершенствовать методы анализа текстовых документов.

При анализе текстовых документов, в частности научных публикаций, с целью нахождения семантически близких публикаций, могут применяться различные методы, основанные как на поверхностном анализе, так и на глубинном семантическом анализе. При поверхностном семантическом анализе в подавляющем количестве методов анализируются частоты вхождения термов в текстовые документы с построением характеристических векторов документов, содержащих набор признаков документа (частоты термов) [1]. При глубинном семантическом анализе изучается внутренняя структура документа с построением семантической сети содержания документа [2].

При этом необходимо решать следующие задачи.

1. Перевод слов в научных публикациях на разные языки. В России в основном публикуются статьи на русском и английском языках, а в электронных научных каталогах присутствуют практически все мировые языки. Не всегда возможен дословный перевод слов на другой язык. Чаще всего переводчикам требуется искать максимально близкие аналоги слов на разных языках, то есть ищутся слова или словосочетания максимально близкие по смыслу. Для перевода в компьютерной лингвистике используются различные тезаурусы, на основании которых подбираются семантически близкие слова.

2. Уменьшение характеристических векторов текстовых документов. Увеличение длины характеристических векторов документов ведет к увеличению сложности вычислений, поэтому с точки зрения использования вычислительных ресурсов целесоо-

бразно уменьшать размерность характеристических векторов путем исключения из него характеристики малозначимых слов. В работе [1] представлен алгоритм уменьшения размерности характеристического вектора документа с использованием онтологии и тезауруса. Также возможно уменьшение характеристического вектора путем объединения нескольких семантически близких термов в один.

Как видно, задача нахождения близких по смыслу термов достаточно актуальна при анализе текстовых документов, также такие термы называют семантически близкими. Семантическая близость — это сходство пар объектов (термов, слов, синсетов, концептов). Существуют различные методы расчета семантической близости [3], но основные методы расчета семантической близости между концептами базируются на анализе иерархических отношений в тезаурусе или онтологии.

Обзор тезауруса WordNet. Для анализа текстовых документов использовали онтологии, такие как Core Ontology, CYC, различные тезаурусы, но практически стандартом в Европе и англоязычном мире стал тезаурус WordNet. По сути онтологии и тезаурусы содержат некоторые сущности и отношения между данными сущностями. Но онтологии построены по принципу человеческого мышления, то есть сущностями являются смысловые концепты, которые не всегда можно описать словами. А тезаурусы построены по принципу иерархического словаря слов, где также могут присутствовать отношения синонимии, анонимии и др.

Можно выделить следующие требования к тезаурусам для расчета семантической близости между терминами текстовых документов.

1. Наличие иерархических отношений. Причем все подмножество объектов тезауруса и иерархических отношений должны образовывать связный граф — дерево. Это необходимо из-за того, что большинство алгоритмов расчета семантической близости термов работают над деревом термов, где связи связи — это отношения класс-подкласс.

2. Описание синонимов. Использование синонимов при анализе текстовых документов позволяет производить перевод слов с одного языка на другой, а также производить уменьшение характеристических векторов документов за счет объединения синонимов.

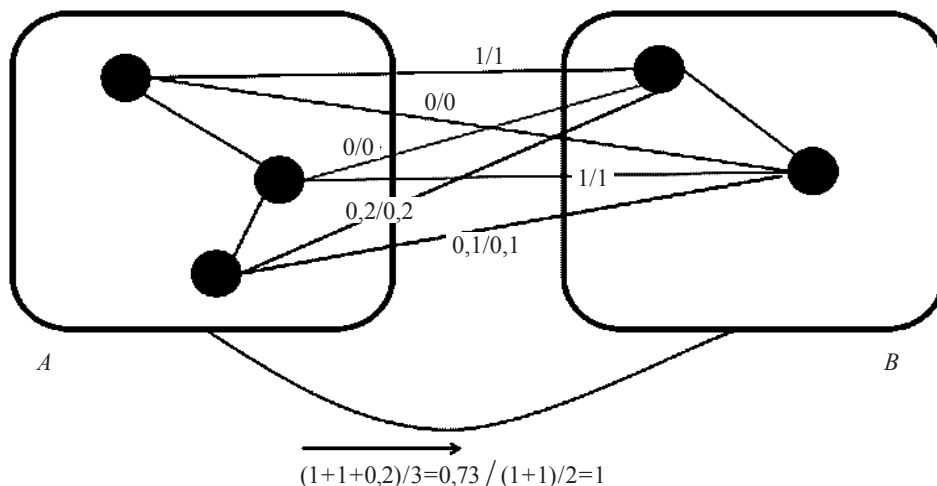


Рис. 1. Расчет семантической близости между документами A и B

3. Поддержка различных языков. По сути, с помощью тезауруса должна быть возможность найти синоним или найти максимально близкий по смыслу терм на иностранном языке.

4. Наличие инструментариев для редактирования тезауруса.

5. Наличие инструментов для интеграции тезауруса в различные программные системы.

Базовой единицей WordNet являются синонимичные ряды (синсеты), разбитые на группы — части речи. Между синсетами могут быть различные типы отношений, в частности, иерархические.

В WordNet существует 6 типов отношений:

- гипероним (собака → животное);
- гипоним (животное → собака);
- has-member (факультет → профессор);
- member-of (пилот → экипаж);
- мероним: has-part (стул → ножка);
- антоним (отличник → двоечник).

Основными отношениями, которые используются для поиска близких по смыслу слов, являются гиперонимы и гипонимы.

В период с 1996 по 1999 г. был создан многоязыковой вариант WordNet — EuroWordNet, содержащий словари английского, датского, испанского, итальянского, немецкого, французского, чешского, эстонского языков. В 2004 г. был реализован проект BalkaNet на основе WordNet, содержащий словари греческого, болгарского, турецкого, чешского, французского, румынского, сербского языков. Все национальные словари связаны с исходным Princeton WordNet и между собой через ILI-индекс (Inter-Lingual-Index).

Семантическая близость между публикациями.

Под семантической близостью подразумевают сходство пар объектов. В рамках данной научной статьи выделяется семантическая близость между научными публикациями и семантическая близость между терминами, синсетами текстовых документов.

При этом в работе [2] семантическая близость между документами определяется семантической близостью термов в этих документах. Если два до-

кумента имеют большое количество семантически близких термов, то делается предположение о том, что эти документы семантически близкие.

На рис. 1 показан пример расчета семантической близости между документами A и B как средне арифметическая величина семантической близости попарно всех термов в обоих документах. При этом видно, что документ A похож на документ B со значением меры семантической близости, равным 0,73, а документ B на A со значением 1. То есть мера семантической близости между документами не симметрична.

Для оценки степени семантической близости существуют различные меры семантической близости. Обычно они нормированы от 0 до 1, соответственно от минимального до максимального значения. Минимальное значение, равное 0, соответствует тому, что объекты непохожи. Значение 1 соответствует тому, что объекты максимально похожи друг на друга.

Для расчета семантической близости между терминами и синсетами, для примера, будем использовать наглядный метод Z. Wu, M. Palmer [4]. Тогда мера семантической близости вычисляется по следующей формуле:

$$Sm(S1, S2) = Sm_{palmer}(S1, S2) = \frac{2 \cdot N3}{N1 + N2 + 2 \cdot N3},$$

где $N3$ — глубина общего синсета $S3$ для $S1$, $S2$ по иерархии; $N1$, $N2$ длина пути от $S1$, $S2$ до $S3$ соответственно.

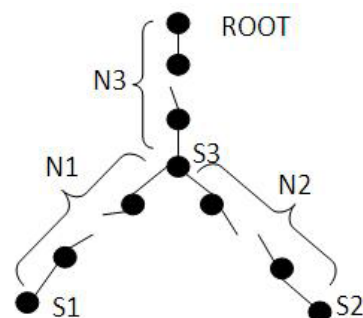


Рис. 2. Расчет семантической близости между $S1$ и $S2$ (Z. Wu, M. Palmer)

Обзор русскоязычных тезаурусов. Рассмотрим следующие тезаурусы на русском языке: РуТез, RussNet, Yet Another RussNet (YARN) (russianword.net), wordnet.ru.

РуТез — один из существующих тезаурусов для русского языка, разработанный Центром информационных исследований и развивающийся Лабораторией информационных исследований во главе с Н. В. Лукашевич [5]

Тезаурус РуТез содержит 158 тысяч слов и выражений, 55 тысяч понятий (в терминологии РуТез используются понятие, а не концепты), объединенные 210 тысячами отношений между этими понятиями. Список понятий и отношений между ними составлялись экспертами без использования специальных алгоритмов. Имеется бесплатная облегченная версия РуТез-lite, содержащая 115 тысяч слов и выражений.

Базовым элементом в РуТез является множество понятий, означающее значимые классы сущностей современного мира. Каждое понятие должно иметь однозначное имя, которое построено на базе слов (текстовых входов), которые относятся к данному понятию. Каждому понятию соотносится набор слов и словосочетаний (текстовые входы), с помощью которых можно сослаться в тексте на данное понятие. В качестве текстовых входов могут использоваться отдельные слова (существительные, прилагательные, глаголы, наречия), а также именные и глагольные группы, словосочетания. Слова и словосочетания, которые относятся к одному понятию, называются онтологическими синонимами.

В РуТез используется 4 типа отношений.

1. Родовидовое отношение «ниже — выше» (класс-подкласс, наследование), транзитивное.

2. Отношение «часть — целое». Важной особенностью является то, что часть всегда должна быть составной частью целого, то есть данное отношение является отношением композиции, а не агрегации (в терминологии ООП). Отношение является транзитивным.

3. Отношение несимметричной ассоциации. Связывает два связанных понятия, в котором одно понятие не может существовать без другого, но при этом не является родовидовым отношением или «частью — целым». Например, понятие *кипение* не может существовать без понятия *жидкость* (несимметричная ассоциация от *кипение* к *жидкость*), при этом *жидкость* может существовать без *кипение*.

4. Отношение симметричной ассоциации. Связывает два очень близких по смыслу понятия (предсимонимия).

Существует веб-версия тезауруса, а также парсер сайта на Python (<https://github.com/ainy/rutez>), который позволяет получить локальную копию в текстовом файле. Специальной бесплатной локальной версии не существует.

К сильным сторонам проекта РуТез можно отнести следующее:

— в онтологии-тезаурусе РуТез описано самое большое количество слов (158 000) и понятий (55 000) по отношению к другим аналогичным русскоязычным проектам;

— практическое применение РуТез в проектах, таких как «Рамблер.Новости», ГАС «Выборы» (ФКЗ «Право»).

К недостатком тезауруса РуТез можно отнести:

— отсутствие интеграции с существующими мировыми онтологиями и тезаурусами на других языках, что не позволяет одновременно анализировать в едином информационном пространстве публикации как на русском, так и на иностранных языках;

— в проекте РуТез используются отличная от проектов WordNet, EuroWordNet, Balka модель описания сущностей, что значительно затрудняет одновременное использование в рамках одной работы РуТез с другими тезаурусами

RussNet. Проект RussNet разрабатывается с 1999 г. на филологическом факультете Санкт-Петербургского государственного университета во главе с И. В. Азаровой. RussNet разрабатывался на основе проекта Пристанского университета WordNet с учетом опыта создания многоязыковых тезаурусов EuroWordNet. Базовой единицей RussNet является синонимический ряд (синсет), которому сопоставляется множество слов. RussNet содержит синсеты четырех типов [5]: существительные (1300), глаголы (1900), прилагательные (1100), наречия (200).

Положительной стороной проекта RussNet является использование в качестве стандарта WordNet, что позволяет использовать уже имеющиеся наработки для решения различных задач как с использованием WordNet, так и с использованием RussNet.

К недостаткам RussNet можно отнести следующее:

— в качестве базовой версии модели описания тезауруса является WordNet 1.5, а актуальная на сегодняшний день версия WordNet 3.0;

— в RussNet описано порядка 5 500 синсетов, что практически в 10 раз меньше, чем описанных понятий в РуТез;

— неполная реализация всех уровней описания тезауруса не позволяет использовать идентификатор ILI для связи синсетов на русском языке, описанных в RussNet, с синсетами других онтологий-тезаурусов, построенных на базе WordNet, то есть, несмотря на поддержку стандартов WordNet, RussNet является отдельным продуктом, предназначенным для анализа текстовых документов исключительно на русском языке, без возможности расширения на англоязычные документы;

— на официальном сайте проекта последнее обновление датировано 2005 г.

YARN. Проект Yet Another RussNet (в переводе на русский язык «Еще один RussNet») создавался в рамках выполнения гранта РГНФ № 13-04-12020 «Новый открытый электронный тезаурус русского

Сравнительные характеристики русскоязычных тезаурусов

Характеристика	Тезаурус				
	РусТез (RuThes)	RussNet	Руссикон	Russianword.net (YARN)	Wordnet.ru
Головная организация	Лабораторией информационных исследований	Филологический факультет СПбГУ	Руссикон	УрФУ	–
Сайт организации	www.labinform.ru	project.phil.spbu.ru/RussNet/index_ru.shtml	www.russicon.ru/public.htm	russianword.net	wordnet.ru
Основные разработчики	Н. В. Лукашевич	И. В. Азарова	С. А. Яблонский	М. Ю. Мухин	А. Липатов, А. Гончарук, И. Гельфенбейн, В. Шило, В. Лехельт
Наличие ILI	НЕТ	НЕТ	Имеется опыт создания русско-английских словарей	НЕТ	Возможно по прямым идентификаторам
Основная сущность	понятие	синсет	–	синсет	синсет
Количество сущностей	55 тыс.	5 500	–	10 тыс. В 2015 г. планируется 30–50 тыс.	20 тыс.
Количество слов, словосочетаний	158 тыс.	15 тыс.	–	87 тыс.	100 тыс.
Совместимость с Princeton WordNet	Нет	WordNet 1.5	неполная	WordNet 3.0	WordNet 3.0
Последние версии на сайте	Постоянно обновляется	2005 г.	2007 г.	Постоянно обновляется	28.08.2008 г.

языка». Отличительной чертой данного проекта является принцип организации наполнения справочников на основе краудсорсенгового подхода. Точно также, как и в проекте Википедия, любой желающий может редактировать справочник слов, синсетов через веб-интерфейс <http://russianword.net>. Справочники построены на базе стандартов WordNet 3.0, поэтому, в отличие от проекта RussNet, YARN позволяет описывать справочники словарного помета. В тезаурусе YARN используется 6 групп словарных помет: эмоциональные пометы; пометы, указывающие на размерность; стилистические пометы; хронологические пометы; доменные (по сфере употребления) и территориальные пометы; пометы для переносных значений [6]. Списки слов составлялись автоматически из нескольких источников, включая Википедию. В структуре данных YARN предусмотрены ILI идентификаторы, но самой реализации нет.

WORDNET.RU. Попытка на базе английского WordNet создать русскую версию путем прямого перевода была осуществлена в рамках работы по созданию wordnet.ru [6]. Несмотря на то, что прямой перевод слов синсетов позволяет достаточно просто объединить английскую и русскую версию WordNet, данный подход не учитывает в полной мере специфику русского языка, поэтому полученные синсеты нельзя считать полноценными русскоязычными синсетами. Судя по дате создания файлов в архиве — 28 августа 2008 г. — проект не развивается (<http://wordnet.ru/rwn3.zip>).

Заключение. Исходя из анализа русскоязычных тезаурусов, можно сделать следующие выводы.

На сегодняшний день существуют два активных проекта по созданию тезауруса на русском языке: РусТез и YARN. При этом в проекте РусТез создали собственную модель тезауруса как онтологию понятий, близких человеческому мышлению. В проекте YARN в качестве модели представления тезауруса используется принципы WordNet, в основе которого лежат синсеты — синонимические ряды. В проекте РусТез не предусмотрено механизма связывания понятий русского языка с их аналогами в других иноязычных тезаурусах. В проекте YARN, как и во всех тезаурусах WordNet 3.0, имеется ILI идентификатор, который служит для связывания синсетов в различных тезаурусах, но реализации ILI идентификатора нет.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что ни один русскоязычный тезаурус не подходит для анализа многоязычного набора текстовых документов, включающего документы на русском и английском, как единого связанного информационного пространства. Но, исходя из того, что проект YARN построен по принципу WordNet и что изначально заложена будущая интеграция через ILI индекс с тезаурусами на других языках, то данный проект является предпочтительным для дальнейшего использования.

Библиографический список

1. Hotho, A. Ontology-based text document clustering / A. Hotho, A. Maedche, S. Staab // KI. 2002. Vol. 16, № 4. С. 48–54.
2. Мельников, А. В. Поиск подобных научных публикаций с использованием методов глубинного семантического анализа / А. В. Мельников, Н. А. Бленда

// Интеллектуальные технологии обработки информации и управления : тр. Второй Междунар. конф., 10–12 нояб. Уфа, Россия, 2014. Уфа : УГАТУ, 2014. С. 29–31.

3. Крюков, К. В. Меры семантической близости в онтологии / К. В. Крюков и др. // Проблемы управления. 2010. № 5. С. 2–14.

4. Wu, Z. Verbs semantics and lexical selection / Z. Wu, M. Palmer // Proceedings of the 32nd annual meeting on Association for Computational Linguistics. Association for Computational Linguistics, 1994. С. 133–138.

5. Лукашевич, Н. В. Тезаурусы в задачах информационного поиска / Н. В. Лукашевич. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2011. 512 с.

6. Азарова, И. В. Принципы построения wordnet-тезауруса RussNet [Электронный ресурс] / И. В. Аза-

рова, А. А. Синопальникова, М. В. Яворская. URL: <http://www.dialog-21.ru/Archive/2004/Sinopalnikova.htm>.

7. Braslavski, P. A Spinning Wheel for YARN: User Interface for a Crowdsourced Thesaurus / P. Braslavski, D. Ustalov, M. Mukhin // Proceedings of the Demonstrations at the 14th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics. Gothenburg, Sweden : Association for Computational Linguistics, 2014. P. 101–104.

8. Gelfenbeyn, I. Automatic translation of WordNet semantic network to Russian language / Ilia Gelfenbeyn, Artem Goncharuk, Vlad Leheldt et al. // In Proceedings of International Conference on Computational Linguistics and Intellectual Technologies Dialog-2003.

Н. М. Боргест, А. А. Громов

ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТА-ПРОЕКТАНТА В КОНЦЕПТУАЛЬНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ САМОЛЕТА

На основе прототипа робота-проектанта, разрабатываемого в Самарском государственном аэрокосмическом университете, исследуются возможности применения методов и технологий искусственного интеллекта с целью ускоренного освоения студентами предварительного проектирования самолета.

Проектирование новых технических систем относится к одному из наиболее сложных видов инженерной творческой деятельности.

Главная особенность концептуального проектирования состоит в необходимости принятия множеств решений при недостаточной или, наоборот, избыточной информации, чем эти задачи в принципе отличаются от «школьных», где дано ровно столько исходных данных, сколько необходимо для получения однозначного точного решения [1].

Студенту тяжело дается процесс освоения методики концептуального проектирования. Поэтому на кафедре конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета (СГАУ) разрабатывается интеллектуальный помощник проектанта, условно на-

званный «Робот-конструктор самолета». Созданный в английском университете робот-ученый [2; 3] вдохновил разработчиков робота-проектанта на выполнение данного проекта.

На каждом этапе своей работы робот-проектант позволяет пользователю внести коррекцию в ход расчета, дает необходимые пояснения относительно параметров, используемых в расчете [4]. Последнее обстоятельство возможно благодаря использованию в роботе-проектанте тезауруса предметной области. Тезаурус представляет собой систематизированную совокупность понятий определенной отрасли науки, отражающих логические связи между терминами [5; 6]. Таким образом, студент может получить точное и непротиворечивое определение любого термина.



Рис. 1. Параметризованная 3D-модель легкого пассажирского самолета

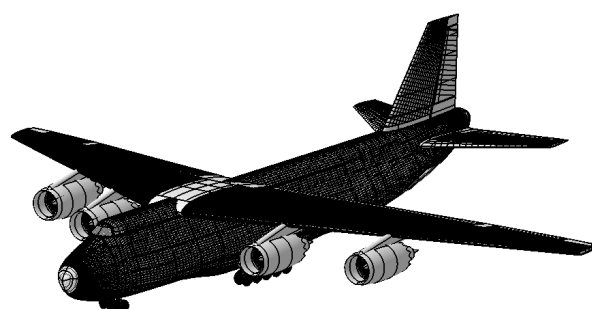


Рис. 2. Параметризованная 3D модель тяжелого транспортного самолета

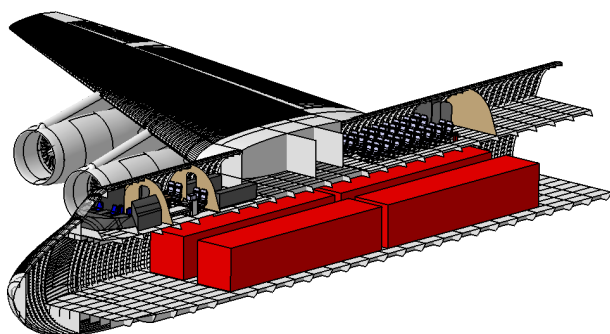


Рис. 3. Параметризованная 3D-модель распределения внутреннего пространства тяжелого транспортного самолета

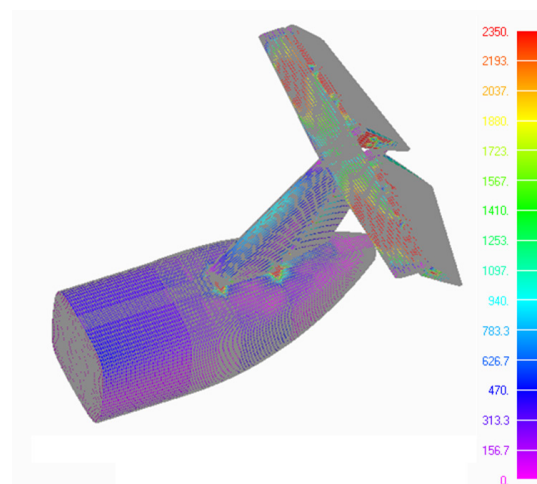


Рис. 4. Результаты прочностного конечно-элементного анализа хвостовой части самолета местных воздушных линий

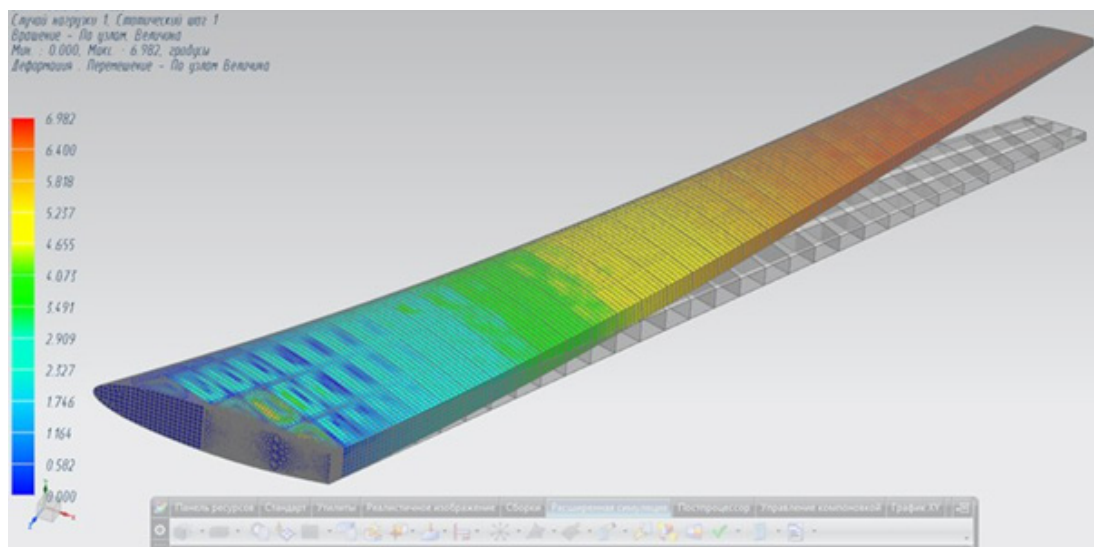


Рис. 5. Результаты прочностного конечно-элементного анализа хвостовой части тяжелого транспортного самолета

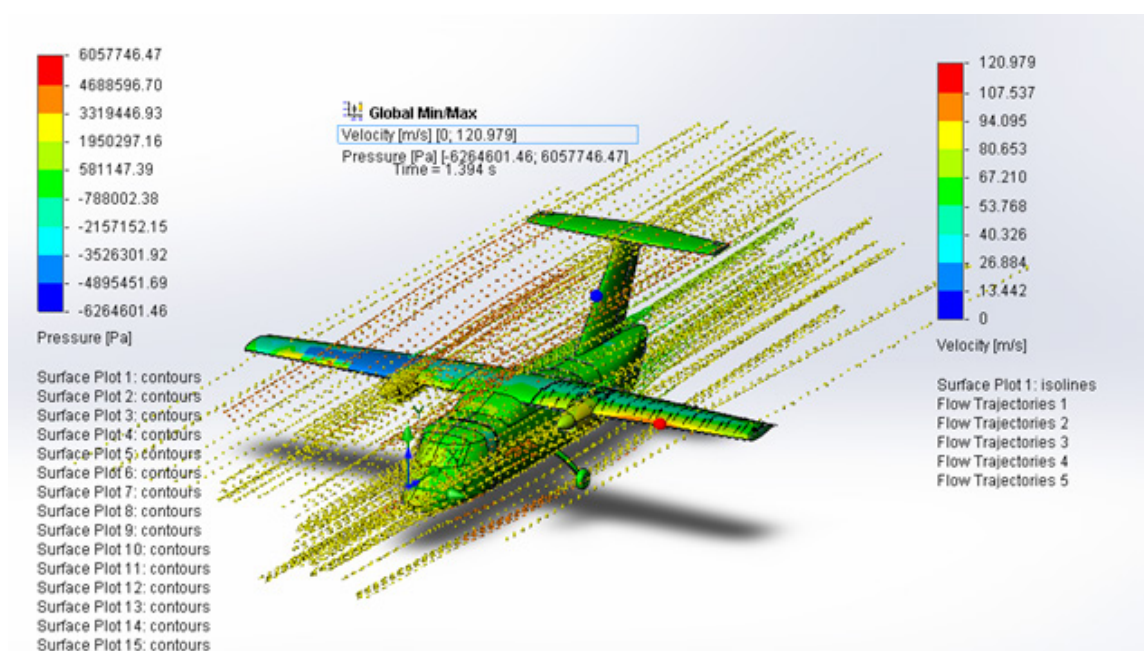


Рис. 6. Результаты аэродинамического анализа самолета местных воздушных линий

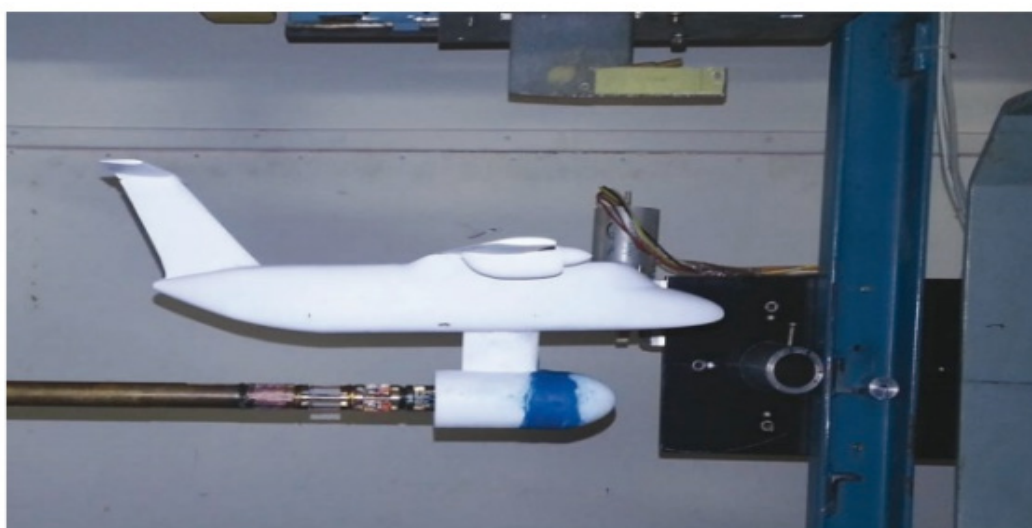


Рис. 7. Твердотельная модель самолета местных воздушных линий перед испытаниями в аэродинамической трубе

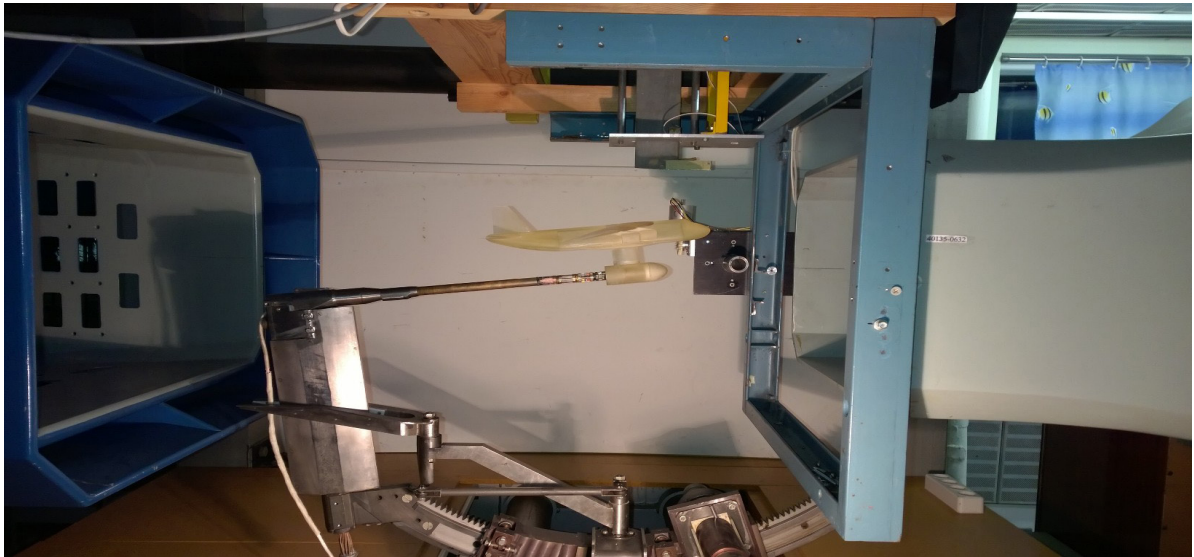


Рис. 8. Твёрдотельная модель тяжёлого транспортного самолёта перед испытаниями в аэродинамической трубе

Робот-проектант позволяет студенту отслеживать изменение внешнего облика самолёта при проведении расчетов. На рис. 1 и 2 представлены параметризованные 3D-модели легкого пассажирского и тяжелого транспортного самолетов, которые непосредственно связаны с матрицей проекта. Наряду с аэродинамической и весовой, является также модель распределения внутреннего пространства. Многовариантность размещения пассажирских кресел, служебно-бытовых помещений делает задачу их компоновки достаточно трудоемкой. Геометрия пассажирской кабины в значительной степени определяет его размеры и, следовательно, аэродинамические, массовые и экономические характеристики. На рис. 3 представлены параметризованные 3D-модели распределения внутреннего пространства тяжелого транспортного самолёта полученные в автоматизированном режиме.

Матрица проекта представляет собой математическое описание самолёта, соответствующее определенному этапу проектирования.

На основе параметризованной 3D-модели самолёта проводятся конечно-элементный прочностной и аэродинамический анализ [7; 8]. Результаты анализов позволяют сделать выводы о целесообразности принятых решений на ранних стадиях проектирования, укрепить представления о взаимосвязи различных параметров самолёта. На представленных рисунках показаны результаты соответственно прочностного (рис. 4 и 5) и аэродинамического (рис. 6) конечно-элементного анализа.

Робот-проектант позволяет получить твердотельную уменьшенную копию разрабатываемого самолёта. Изготовление проекта самолёта на 3D-принтере может потребоваться для демонстрации проекта заказчику, более наглядного представления его внешней и внутренней компоновки, конструктивно-силовой схемы, так и для проведения аэродинамических испытаний в прикладных пакетах и аэродинамической трубе (рис. 7–9) [9].

Робот-проектант нацелен на то, чтобы помочь освоить студенту процесс предварительного проектирования самолёта. В частности, изучить сценарий или последовательность проектных операций и процедур, освоить и понять содержание этих операций и процедур, научиться осуществлять выбор и обоснование параметров самолёта, знать определение используемых терминов и уметь дать пояснения им, научиться объяснять и обосновывать принятые решения. Робот-проектант способен оказывать помощь на любом шаге выполнения проекта, а голосовое и визуальное интерактивное взаимодействие способствует скорейшему освоению процесса проектирования и самой предметной области. Использование заготовленных тестовых расчетов и готовых проектов самолетов, заготовленных отпечатанных моделей самолетов, и применение видеороликов, демонстрирующих 3D-печать образцов выполненных проектов, а также их испытаний в аэродинамической трубе — все это существенно дополняют арсенал средств для скорого освоения сложного процесса подготовки первой оценки проекта самолёта.

Библиографический список

1. Комаров, В. А. Концептуальное проектирование самолёта : учеб. пособие / В. А. Комаров, Н. М. Боргест, И. П. Вислов и др. Самара : Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2011. 100 с.
2. Michalski, R. Tech. Rep. No. MLI-Report 88-1 / R. Michalski, L. Watanabe. Fairfax, VA : George Mason University : Artificial Intelligence Center, 1988.
3. King, R. D. The automation of science / R. D. King, J. Rowland, S. G. Oliver // Science. 2009. Vol. 324(5923). P. 85-9.
4. Боргест, Н. М. Робот-проектант: фантазия и реальность / Н. М. Боргест, А. А. Громов, А. А. Громов и др. // Онтология проектирования. 2012. № 4. С. 73–95.
5. Шустова, Д. В. Разработка тезауруса прикладной онтологии / Д. В. Шустова // Аспирант. вестн. Поволжья. 2010. № 1–2. С. 109–111.

6. Боргест, Н. М. Принципы создания тезауруса «проектирование самолета» с использованием редактора Protégé / Н. М. Боргест, Д. В. Шустова, С. Р. Гиматдинова // КИИ-2012 : тр. 13-й Национ. конф. по искусствен. интеллекту. Белгород : Изд-во БГТУ, 2012. Т. 3. С. 186–193.

7. Дмитриев, Д. Н. Автоматизация аэродинамической оценки самолета на этапе технических предложений на основе разрабатываемой параметрической 3D модели / Д. Н. Дмитриев, А. А. Громов // Intelligent Technologies for Information Processing and Management. Ufa, 2014. Vol. 1. P. 94–97.

8. Громов, А. А. Автоматизация прочностного конечно-элементного анализа самолета на этапе технических предложений на основе разрабатываемой параметрической 3D модели / А. А. Громов, М. С. Киреев // Intelligent Technologies for Information Processing and Management. Ufa, 2014. Vol. 1. P. 98–101.

9. Чивилев, М. В. Разработка параметрической 3D модели самолета на этапе технических предложений для проведения физических экспериментов в аэродинамической трубе / М. В. Чивилев, Н. М. Боргест // Intelligent Technologies for Information Processing and Management. Ufa, 2014. Vol. 1. P. 102–105.

Д. С. Ботов, А. В. Мельников

ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ФОРМИРОВАНИЯ НАБОРА УЧЕБНЫХ КУРСОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Описано применение онтологического подхода для построения онтологических моделей образовательной программы и профессии (профессионального стандарта) при решении задачи автоматизированного формирования набора учебных курсов с учетом требований рынка труда на основе интеллектуального анализа результатов обучения.

Введение. Сегодня высшее образование существует в условиях постоянно меняющихся требований как со стороны государства, так и со стороны рынка труда и профессиональных сообществ. Вузы переходят на новую редакцию федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования — ФГОС ВО 3+, которые дают существенную свободу при выборе вузом видов профессиональной деятельности выпускников и связанных с ними компетенций, определения структуры и содержания образовательной программы. Помимо этого, в среде Интернет увеличивается количество образовательного контента, в том числе и достаточно качественного, создаваемого ведущими университетами мира. В открытом доступе на сайтах университетов публикуется информация о реализуемых образовательных программах, учебных дисциплинах (модулях), стратегиях и методах обучения.

При разработке новых или обновлении существующих образовательных программ для обеспечения качественной подготовки конкурентоспособных выпускников следует учитывать следующие факторы и условия:

- отсутствие жесткой регламентации содержания образовательной программы в ФГОС ВО 3+;
- непрерывное развитие науки и техники;
- изменения требований рынка труда;
- опыт ведущих российских и зарубежных вузов.

В связи с этим возрастают требования к преподавателям вузов, в первую очередь, в сфере подготовки квалифицированных кадров для динамично развивающихся отраслей экономики. Так, например, в сфере информационных технологий преподаватели сталкиваются с необходимостью ежегодного обновления содержания профессиональных дисциплин, что обусловлено стремительным развитием технологий (жизненный цикл технологии от ее возникновения и появления на рынке до морального устаревания и смены на более перспективную технологию составляет 1,5–2 года), высокой динамикой рынка труда ИТ-специалистов, изменением требований со стороны профессионального сообщества (профессиональные стандарты в сфере ИТ, создаваемые под эгидой Ассоциации предприятий компьютерных и информационных технологий (АП КИТ) [1], обновляются ежегодно).

Подходы к разработке и документированию учебных дисциплин (модулей) образовательных программ. В мире становится общепринятым студентоориентированный подход к разработке образовательных программ и отдельных учебных дисциплин, опирающийся на формулирование ожидаемых результатов обучения (learning outcomes). Результаты обучения — это формулировки того, что, как ожидается, будет знать, понимать и/или будет в состоянии продемонстрировать учащийся после завершения процесса обучения [2]. Этот подход предполагает в качестве первых шагов разработки учебного курса определение целей, задач и результатов обучения, исходя из которых в дальнейшем определяется содержание дисциплины, стратегия и методы обучения, способы аттестации [3].

В России этот подход реализуется в соответствии с ФГОС ВО 3+, который предполагает определенную свободу выбора образовательной организацией при разработке образовательной программы по направлению подготовки:

- видов профессиональной деятельности выпускника (основного и вспомогательных);
- набора профессиональных компетенций, соответствующих выбранным видам профессиональной деятельности, которые будут формироваться у выпускника;
- набора дисциплин базовой части с учетом рекомендаций примерных основных образовательных программ;
- профиля (или набора профилей) с соответствующими дисциплинами вариативной части образовательной программы (в том числе дисциплин по выбору обучающегося).

При этом для каждой из дисциплин образовательной программы в соответствии с принятым порядком [4] разрабатывается рабочая программа дисциплины (РПД), в которой преподавателями прописываются следующие основные элементы:

- цели и задачи дисциплины;
- место учебной дисциплины в структуре образовательной программы;
- перечень планируемых результатов обучения, соотношенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями);
- структура и содержание учебной дисциплины.

В зарубежных вузах (Западная Европа, Северная Америка), как правило, достаточно гибко подходят к описаниям учебных модулей и отсутствует единая стандартизация шаблона аннотации курса. Вследствие чего зачастую на сайтах западных университетов можно найти в открытом доступе лишь короткую аннотацию к курсу. Однако существуют университеты, публикующие на своих сайтах достаточно подробную информацию об учебных модулях, включая цели и задачи, результаты обучения, входные требования и т. д. Такими университетами, к примеру, являются:

- Великобритания: University of St Andrews, University of Greenwich;
- США: University of California, Bowling Green State University;
- Австралия: Swinburne University of Technology, Victoria University, Macquarie University;
- Гонконг (Китай): Hong Kong Baptist University, The University of Hong Kong;
- Ирландия: Dublin Institute of Technology, Cork Institute of Technology;
- Швеция: KTH Royal Institute of Technology.

Отдельно стоит остановиться на Massive Open Online Courses как одном из главных трендов современного дистанционного образования. Описание открытых курсов в рамках таких популярных MOOC, как Coursera, edX, Udacity, включает в себя:

- аннотацию (короткая общая информация о курсе (модуле), целях и задачах);
- входные требования к обучающимся (рекомендуемая подготовка — prerequisites);
- информацию о длительности курса, трудоемкости (учебная нагрузка);
- информацию о преподавателе;
- учебный план курса (как правило, по неделям).

Можно сказать, что MOOC на текущий момент игнорируют подход к формированию содержания модулей через описание ожидаемых результатов обучения, несмотря на тенденцию введения в этих системах специальностей (степеней) — набора связанных курсов одной направленности.

Можно сделать вывод, что на сегодняшний день в среде Интернет на сайтах университетов различных стран мира существует достаточно много разного рода описаний образовательных программ и отдельных учебных дисциплин (модулей), включающие в себя не только краткие аннотации, но и достаточно подробные описания с формулируемыми результатами обучения. Стоит отдельно отметить, что для российских вузов публикация информации об образовательных программах по текущему законодательству является обязательной, регламентированное наполнение рабочей программы дисциплины включает в себя результаты обучения.

Подходы к анализу образовательных программ, учебных дисциплин (модулей). Для обеспечения актуальности набора результатов обучения и соответствующего им содержания учебной дисциплины

преподавателю необходимо регулярно искать и анализировать информацию об аналогичных учебных дисциплинах соответствующих образовательных программ ведущих мировых университетов, развитии науки и техники в соответствующей предметной области. Для профессиональных дисциплин дополнительной сложной задачей становится поиск и анализ больших массивов информации о требованиях со стороны рынка труда и профессиональных сообществ.

Несмотря на то, что в подавляющем большинстве случаев эти задачи выполняются преподавателями вручную путем поиска информации в среде Интернет, на сегодняшний день существует ряд работ, описывающих применение интеллектуальных методов для решения задач поиска и анализа образовательных программ.

В работе О. Н. Сметаниной [5] предложены модели системы управления образовательным маршрутом и средства информационной поддержки принятия решений с использованием интеллектуальных технологий, которые позволяют определять степень схожести российских и международных образовательных программ путем сопоставления на самом низком уровне терминов (ключевых слов), знаний, умений, навыков, компетенций и наименований дисциплин учебных планов. В работе С. В. Тархова [6] представлен метод создания агрегативных учебных модулей на основе адаптивного учебного контента, формируемого из дидактических единиц, хранимых в системе электронного обучения. Исследование А. Ю. Ужва [7] посвящено автоматизированной разработке онтологической модели предметной области для поиска образовательных ресурсов с использованием анализа текстов рабочих программ дисциплин.

В работе В. В. Пикулина, Ю. А. Усачева [8] предлагается подход к созданию системы информационной поддержки процессов актуализации ряда документов, используемых при формировании и модернизации образовательных программ с учетом соответствия актуальным требованиям работодателей и профессиональных сообществ. В основе подхода лежит семантический анализ, суть которого состоит в решении задач сопоставления семантики текстовых данных, определения семантической близости документов.

В работе Е. А. Черниковой [9] описывается применение онтологического подхода для формализации и сравнения учебных курсов и модулей при реализации вузами совместных образовательных программ, вводятся, в частности, различные меры семантической близости для результатов обучения и ключевых слов при анализе учебных модулей.

Предлагается создать информационную систему, обеспечивающую интеллектуальную поддержку процесса разработки или обновления образовательных программ в части подбора актуализированной информации о программах, отдельных учебных

дисциплинах (модулях) с учетом требований рынка труда и профессиональных стандартов на основе интеллектуального анализа результатов обучения.

В качестве основного способа формализации описания образовательной программы и профессионального стандарта с учетом требований рынка труда предлагается использовать онтологический подход как наиболее оптимальный для решения задач создания и наполнения баз знаний, представления смысла в метаданных, семантического поиска в сети Интернет [10].

Онтологическая модель образовательной программы. Онтологическая модель образовательной программы включает в себя описание видов профессиональной деятельности, компетенций, разбитых на категории в соответствии с образовательным стандартом, уровня образования, профиля подготовки, описание дисциплины (модуля) с набором соответствующих результатов обучения и их соотнесение с компетенциями образовательного стандарта.

$$OEP = \langle C_{OEP}, R_{OEP}, F_{OEP} \rangle,$$

где C_{OEP} — множество концептов онтологии образовательной программы;

R_{OEP} — множество отношений;

F_{OEP} — множество функций интерпретации, заданных на концептах и (или) отношениях.

Разработанная онтологическая модель образовательной программы представлена на рис. 1.

В онтологии образовательной программы определены следующие концепты (классы сущностей):

$C_{OEP} = \{\text{Educational Program, Professional Activity, Level, Profile, Competence, Competence Category, Module, Learning Outcome}\},$

где Educational Program — образовательная программа по определенному направлению подготовки;

Professional Activity — вид профессиональной деятельности образовательной программы (основной или вспомогательный из списка, определенного соответствующим ФГОС ВО);

Level — уровень высшего образования, определенный из уровней высшего образования в РФ (бакалавриат, магистратура, специалитет, подготовка кадров высшей квалификации (аспирантура, ординатура, ассистентура-стажировка));

Profile — профиль подготовки, определяющий набор дисциплин (модулей) вариативной части образовательной программы по определенному направлению подготовки;

Competence — компетенция из списка, определенного в ФГОС ВО, формируемая образовательной программой в определенных учебных дисциплинах (модулях);

Competence Category — категория компетенций из ФГОС ВО: общекультурные, общепрофессиональные, профессиональные; профессиональные компетенции в ФГОС ВО разбиты на наборы, связанные с соответствующими видами профессиональной деятельности выпускника;

Module — учебная дисциплина (модуль) образовательной программы может входить в базовую или в вариативную часть (в качестве обязательной дисциплины вариативной части или дисциплины по выбору обучающегося);

Learning Outcome — ожидаемый результат обучения, достигаемый обучающимся в результате успешного освоения определенной учебной дисциплины (модуля); результат обучения соотносится с компетенцией, конкретизируя уровень формирования компетенции образовательной программы в рамках конкретной учебной дисциплины.

Онтологическая модель профессии (профессионального стандарта). Если онтологическая модель образовательной программы формализует требования к выпускнику со стороны вуза, то онтологическая модель профессии формализует требования к выпускнику со стороны рынка труда и профессионального сообщества.

Онтологическая модель профессии построена на базе структуры профессиональных стандартов в области ИТ, созданных под эгидой АП КИТ [1], и включает в себя описание профессии, вида профессиональной деятельности, обобщенные трудовые функции определенного уровня (подуровня) квалификации с соответствующими требованиями к образованию, с указанием возможной должности, конкретные трудовые функции с набором трудовых действий и требований к умениям/знаниям.

$$O_{Prof} = \langle C_{OProf}, R_{OProf}, F_{OProf} \rangle,$$

где C_{OProf} — множество концептов онтологии профессии;

R_{OProf} — множество отношений;

F_{OProf} — множество функций интерпретации, заданных на концептах и (или) отношениях.

Разработанная онтологическая модель образовательной программы представлена на рис. 2.

В онтологии профессии определены следующие концепты (классы сущностей):

$C_{OProf} = \{\text{Profession, Professional Activity, Generalized Work Function, Work Function, Work Action, Skill, Position, Vacancy, Speciality, Level, Qualification Level}\},$

где Profession — название профессии из соответствующего профессионального стандарта;

Professional Activity — вид профессиональной деятельности (как правило, один для профессии);

Generalized Work Function — обобщенная трудовая функция для определенного уровня (подуровня) квалификации (Qualification Level) профессионального стандарта с заданными требованиями к уровню образования (Level), конкретным направлениям подготовки (специальности) (Speciality);

Position — возможная занимаемая должность, к которой относится обобщенная трудовая функция;

Work Function — трудовая функция, детализирующая обобщенную трудовую функцию; описывается набором трудовых действий (Work Action) и необходимых знаний и умений, для ее выполнения (Skill);

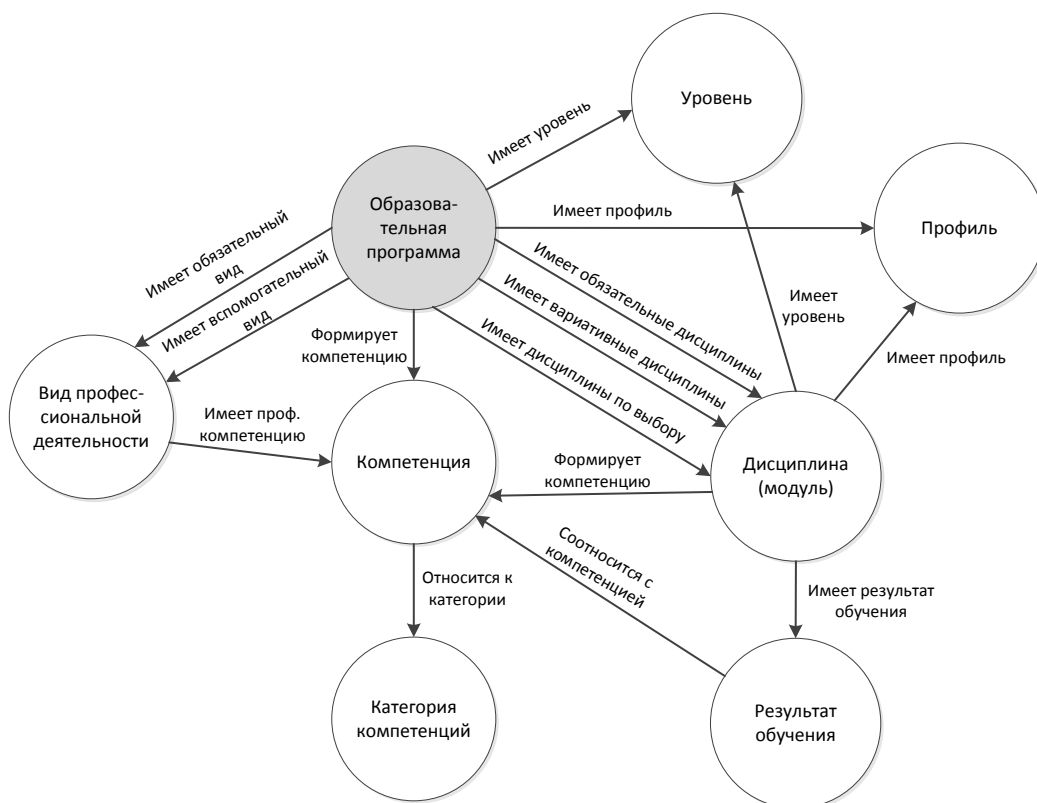


Рис. 1. Онтологическая модель образовательной программы

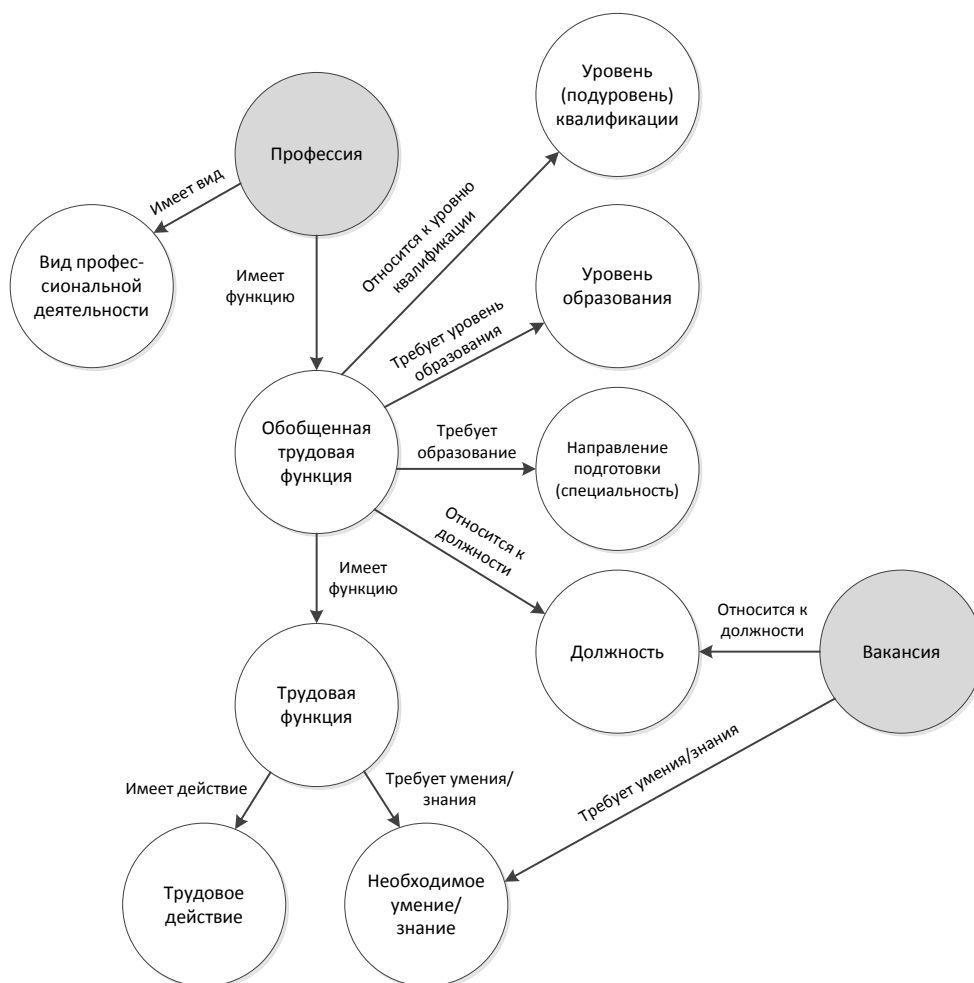


Рис. 2. Онтологическая модель профессии (профессионального стандарта)

Vacancy — описание вакансии на определенную должность (Position) с набором конкретных требований к знаниям и умениям (Skill).

Заключение. При сопоставлении онтологических моделей можно отметить концепты (классы сущностей), имеющие одинаковую или сопоставимую семантику:

- Professional Activity (вид профессиональной деятельности);
- Level (уровень образования);
- Educational Program (образовательная программа) и Speciality (направление подготовки/специальность);
- результат обучения (Learning Outcome), необходимое умение/знание (Skill) и трудовое действие (Work Action).

Действительно, если проанализировать содержание образовательных программ и профессиональных стандартов, то становится очевидно, что формулировки трудовых действий, необходимых умений/знаний в профессиональных стандартах и в требованиях к вакансиям очень близки по структуре и семантике к результатам обучения по учебной дисциплине (модулю). Этот факт стоит учесть при дальнейшей разработке алгоритма интеллектуального поиска учебных дисциплин (модулей) под заданный набор результатов обучения и ключевых слов, соотнесенный с трудовыми действиями и необходимыми умениями/знаниями из соответствующих профессиональных стандартов и требованиях к вакансиям.

При разработке подобного алгоритма отдельным сложным вопросом становится определение следующих мер семантической близости:

- меры семантической близости отдельных учебных дисциплин образовательных программ;
- меры семантической близости результатов обучения учебных дисциплин, трудовых действий профессиональных стандартов, требований к умениям/знаниям вакансий.

Библиографический список

1. Information & Computer Technologies Industry Association (APKIT) : сайт [Электронный ресурс]. URL: www.apkit.ru.
2. ECTS Users' Guide. Brussels : Directorate-General for Education and Culture, 2005.
3. Adam, S. Using Learning Outcomes: A consideration of the nature, role, application and implications for European education of employing learning outcomes at the local, national and international levels [Электронный ресурс] / S. Adam. URL: <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2004/09/19908/42711>.
4. Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования — программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры : утв. приказом Минобрнауки России № 1367 от 19 дек. 2013 г.
5. Сметанина О. Н. Методологические основы управления образовательным маршрутом с использованием интеллектуальной информационной поддержки : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.10 / О. Н. Сметанина. Уфа, 2012. 32 с.
6. Тархов, С. В. Методологические и теоретические основы адаптивного управления электронным обучением на базе агрегативных учебных модулей : дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.10 / С. В. Тархов. Уфа, 2009. 336 с.
7. Ужва, А. Ю. Автоматизированная разработка онтологической модели предметной области для поиска образовательных ресурсов с использованием анализа текстов рабочих программ [Электронный ресурс] / А. Ю. Ужва // Современ. проблемы науки и образования. 2013. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/107-8324>.
8. Пикулин, В. В. Использование семантического анализа для актуализации образовательных программ / В. В. Пикулин, Ю. Е. Усачёв и др. // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего : период. науч. изд. Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2013. № 10 (14). С. 88–95.
9. Chernikova E. A. A Novel Process Model-driven Approach to Comparing Educational Courses using Ontology Alignment [Электронный ресурс] / E. A. Chernikova. URL: <https://www.dora.dmu.ac.uk/handle/2086/10107>.
10. Башмаков, А. И. Интеллектуальные информационные технологии : учеб. пособие / А. И. Башмаков, И. А. Башмаков. М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. 304 с.

А. Р. Давлетбаева, Л. Р. Черняховская

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Рассматриваются вопросы обеспечения результативности процесса дистанционного обучения. Предлагается применение инструментов онтологического анализа и нечеткого когнитивного моделирования с целью формализации исследуемого процесса, а также анализа, оценки и прогнозирования его результатов.

Введение. Система образования как один из важнейших элементов духовной сферы общественной жизни развивается и изменяется в соответствии с общими направлениями технического прогресса. Одним из таких направлений является информатизация образования, выражающаяся, прежде всего, в развитии технологий электронного и дистанционного обучения и позволяющая воплотить в реальность идеи общедоступности, индивидуализированности и непрерывности образования. При всех положительных моментах многие вопросы, связанные с реализацией электронного обучения, остаются достаточно спорными и требующими изучения. К одному из них можно отнести проблему обеспечения результативности дистанционного обучения с точки зрения его успешного освоения. Например, согласно данным некоторых зарубежных исследований в области MOOC (Massive Open Online Courses), количество обучающихся, завершивших обучение, колеблется в пределах 30–50 % в зависимости от предметной области, а также применяемых инструментов обучения [1]. В большинстве российских вузов дистанционное обучение применяется в рамках реализации основных и дополнительных образовательных программ, процедуры оценки его эффективности и результативности зачастую носят формальный характер или вообще не рассматриваются. В то же время, можно достаточно уверенно утверждать, что задача оценки и прогнозирования результативности дистанционного обучения является сложной, требует учета большого количества различных факторов, а также характеризуется некоторым уровнем неопределенности в силу того, что главные роли в процессе обучения принадлежат людям. Активное использование информационных технологий, с одной стороны, упрощает обучение, а с другой — накладывает некоторые ограничения на процесс взаимодействия и восприятия информации. В данных условиях становится актуальной возможность использования в целях обеспечения результативности и эффективности процесса дистанционного обучения специальных инструментов интеллектуального анализа, в частности онтологического моделирования и нечетких когнитивных карт.

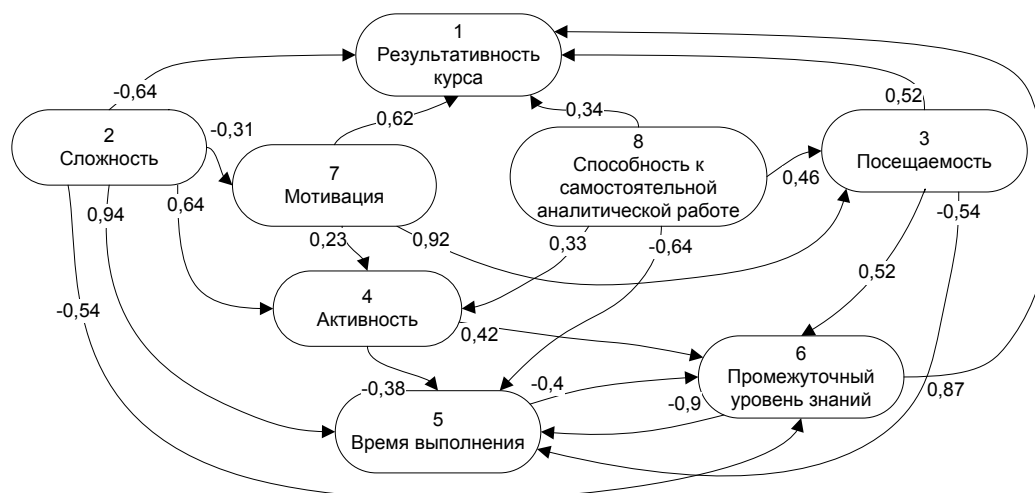
Нечеткие когнитивные карты как инструмент оценки результативности дистанционного обучения. Современное понимание дистанционного обучения не

только в российской, но и зарубежной системе образования чаще всего основано на его представлении в форме электронных учебных курсов. Электронный курс выступает как средство обучения, позволяющее аккумулировать необходимые для изучения знания, а также содержать инструменты для контроля и интерактивного взаимодействия пользователей. Таким образом, задачу оценки результативности дистанционного обучения можно рассматривать с точки зрения успешности освоения соответствующего электронного учебного курса. Для описания и решения задачи подобного типа был предложен хорошо зарекомендовавший себя подход, основанный на построении нечетких когнитивных карт [2]. Активное использование нечетких когнитивных карт в качестве средства моделирования сложных систем и процессов обусловлено возможностью наглядного представления анализируемой проблемы и легкостью интерпретации причинно-следственных связей. Они используются для получения прогноза развития системы, а также стратегии достижения желаемого результата.

В рамках проведенного исследования были использованы нечеткие когнитивные карты, предложенные В. Б. Силовым [3], как наиболее наглядные, понятные для экспертов, а также в достаточной мере реализующие принципы нечеткой логики.

Первоначально были выявлены факторы, оказывающие влияние на рассматриваемую проблему. Факторы были получены на основе онтологического моделирования, проведенного на предыдущих этапах исследования и позволившего по возможности структурировать и представить в формальном виде информацию, характеризующую все аспекты реализации дистанционного обучения. Далее в процессе нечеткого когнитивного моделирования были агрегированы и проанализированы знания экспертов в рассматриваемой предметной области с целью определения и оценки интенсивности причинно-следственных связей между выделенными факторами, оказывающими влияние на результативность дистанционного обучения в рамках освоения конкретной учебной дисциплины. В числе прочих были выделены следующие факторы:

— «Промежуточный уровень знаний», отражающий итоги промежуточной аттестации, а также результаты освоения определенных учебных модулей курса;



Нечеткая когнитивная карта оценки результативности дистанционного обучения

Итоговая матрица взаимовлияний

Факторы	1	2	3	4	5	6	7	8
Результативность курса	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сложность	-0,64	0,00	-0,54	0,64	0,94	0,94	-0,54	0,00
Посещаемость	0,52	0,00	0,52	0,23	-0,54	0,52	0,52	0,00
Активность	0,42	0,00	0,42	0,23	-0,42	0,42	0,42	0,00
Время выполнения	-0,40	0,00	-0,40	-0,23	0,40	-0,40	-0,40	0,00
Промежуточный уровень знаний	0,87	0,00	0,64	0,23	-0,90	0,52	0,64	0,00
Мотивация	0,62	0,00	0,92	0,23	-0,54	0,52	0,52	0,00
Способность к самостоятельной аналитической работе	0,46	0,00	0,46	0,33	-0,64	0,46	0,46	0,00

– «Сложность» — фактор представляющий собой интегральный показатель, характеризующий совокупную сложность пройденных учебных модулей, определяемую либо экспертным путем, либо с помощью установленных формальных процедур оценки, либо на основе статистического анализа данных об успешности освоения данной части курса;

– «Посещаемость» — фактор, определяемый на основе анализа логов системы дистанционного обучения и позволяющий оценить общий характер поведения обучающегося в процессе освоения модулей электронного учебного курса;

– «Активность» — фактор, в котором находят отражение коммуникативные качества обучающегося, степень его вовлеченности в проводимые обсуждения, опросы консультации и т. д.;

– «Мотивация» — фактор, проявляющий себя в степени заинтересованности обучающегося в самом обучении и в его конечных результатах и определяемый на основе процедур анкетирования на различных этапах освоения дисциплины;

– «Способность к самостоятельной аналитической работе» — фактор, который представляет собой определяемый с помощью анкетирования интегральный показатель, позволяющий оценить такие личные качества обучающегося, как самостоятельность, организованность, усидчивость, аналитическое мышление и т. д.;

– «Время выполнения» — фактор, основанный на соотношении прогнозируемого и фактически затраченного на освоение конкретной части учебного курса времени.

На основе анализа и усреднения полученных экспертных оценок была построена соответствующая нечеткая когнитивная карта, представляющая собой нечеткий ориентированный граф, в вершинах которого находятся выделенные факторы, а ребра отражают направление, характер и силу связи между ними (рисунок).

Созданная нечеткая когнитивная карта отражает непосредственно существующие в представлении экспертов связи между факторами (или концептами). В дальнейшем с целью более глубокого и всестороннего анализа исследуемой проблемы была получена информация о неявных (опосредованных) взаимных влияниях концептов, а также различных характеристиках и показателях созданной нечеткой когнитивной карты (таблица). Дальнейший расчет системных показателей полученной когнитивной карты также выявил высокий уровень консонанса и отсутствие конфликтных групп концептов.

Выявленные причинно-следственные связи могут быть использованы для определения значения целевого концепта в задачах прогнозирования и оценки, а также направлены на разработку алгоритма действий по конкретной ситуации.

Заключение. Таким образом, была рассмотрена проблема прогнозирования и оценки результативности образовательного процесса, реализующегося с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий. В целях структуризации и формализации данных о процессе был использован онтологический подход. Были выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на результативность процесса дистанционного обучения с точки зрения успешности освоения электронного учебного курса. Анализ проблемы в рамках решения задачи исследования взаимовлияния выделенных факторов был проведен с использованием нечетких когнитивных карт.

Библиографический список

1. MOOC Completion Rates: The Data : сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.katyjordan.com/MOOCproject.html> (дата обращения 18.12.2014).
2. Черняховская, Л. Р. Оценка влияния социально-психологических факторов на качество подготовки студента с применением нечетких когнитивных карт / Л. Р. Черняховская, И. Б. Герасимова, А. Р. Салаватова, Л. Н. Мухамедрахимова // Вестн. УГАТУ. 2014. Т. 18, № 4 (65). С. 134–141.
3. Борисов, В. В. Нечеткие модели и сети / В. В. Борисов, А. В. Круглов, А. С. Федулов. М. : Горячая линия – Телеком, 2007. 284 с.

И. В. Захарова, М. С. Тимченко

ОТ «БОЛЬШИХ ДАННЫХ» К ПРОГНОЗНОЙ АНАЛИТИКЕ. ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГНОЗНОЙ АНАЛИТИКЕ В ВУЗЕ

Рассматриваются методы прогнозной аналитики и возможность их применения для формирования аналитико-прогнозной работы в системе стратегического контроля и управления вузом.

Введение. Основные определения. Облачные технологии, большие данные, аналитика — эти три фактора современных информационных технологий не только взаимосвязаны, но сегодня уже не могут существовать друг без друга.

«Большие данные» — это технологии извлечения ценности из разноформатных данных большого объема путем их быстрого захвата, обработки и анализа.

Данные обрабатываются для получения информации, которой должно быть ровно столько, чтобы человек мог превратить ее в знание.

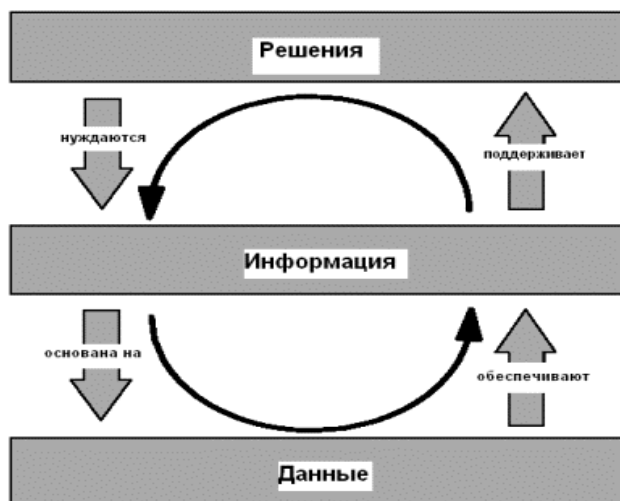


Рис. 1. Решения — Информация — Данные

Перечислим данные, которые есть в каждом предприятии, в том числе и в вузах:

- портал вуза;
- система управления учебным процессом;
- автоматизированная библиотечная информационная система;
- электронные учебные курсы;
- корпоративная почта;
- база данных входящей и исходящей корреспонденции;
- нормативно-правовая информация.

Прогнозная аналитика — это технология, которая опирается на Big Data, данные о поведении людей, чтобы предсказывать, как они будут вести себя в будущем, и оптимизировать бизнес-процессы с помощью этих знаний.

Центральной сущностью предикативной аналитики является задача определения предиктора или

нескольких предикторов (параметров или сущностей, которые влияют на прогнозируемое событие).

Цель исследования — изучение способов формирования аналитико-прогнозной работы в системе стратегического контроля и управления вузом.

Применение прогнозной аналитики в вуз. Любое применение прогнозной аналитики определяется двумя факторами.

1. Предмет прогнозирования: какое поведение, действие или событие должно быть спрогнозировано в отношении конкретного человека, акции или другого субъекта?

2. Цель прогнозирования: какие решения будут приняты или какие действия предприняты организацией в ответ на каждый прогноз или под его влиянием?

Назовем наиболее перспективные прогнозы в любом вузе:

- востребованность специальностей в ближайшие годы;
- максимальная цена, которую готовы заплатить студенты за обучение на очной и дистанционной форме;
- поиск наиболее перспективных web-ресурсов для размещения рекламы;
- определение наиболее востребованной литературы (как печатной, так и электронной) для заказа на будущие года;
- число студентов, отчисленный за неуплату и неуспеваемость в будущем году.

Методы и модели прогнозной аналитики. В работе [1] введена классификация современных методов и моделей прогнозной аналитики.

Интуитивные методы прогнозирования имеют дело с суждениями и оценками экспертов. На сегодняшний день они часто применяются в маркетинге, экономике, политике, так как система, поведение которой необходимо спрогнозировать, или очень сложна и не поддается математическому описанию, или очень проста и в таком описании не нуждается. Подробности о такого рода методах можно глянуть в [2].

Формализованные методы — описанные в литературе методы прогнозирования, в результате которых строят модели прогнозирования, то есть определяют такую математическую зависимость, которая позволяет вычислить будущее значение процесса, сделать прогноз.

В нашем случае для составления прогноза наиболее подходят статистические модели.



Рис 2. Классификация моделей и методов

В статистических моделях зависимость будущего значения от прошлого задается в виде некоторого уравнения. К ним относятся:

- регрессионные модели (линейная регрессия, нелинейная регрессия);
- авторегрессионные модели (ARIMAX, GARCH, ARDLN);
- модель экспоненциального сглаживания;
- модель по выборке максимального подобия;

Панельные данные. Панельные данные представляют собой двумерные массивы. Одно измерение по экономическим единицам ($I = 1 \dots N$), другое — временное ($t = 1 \dots T$). Таким образом, панельные данные имеют два индекса (I, t). Индекс I относится к одной и той же экономической единице в разные моменты времени [2].

Пример. Данные за 5 лет по разным школам одного города (рис. 3). Прогноз, который возможен для таких данных: сколько абитуриентов придет из конкретных школ и какие факторы влияют на количество поступивших из разных школ?

Метод авторегрессии

$$Y_t = A_0 + A_1 * Y_{t-1} + A_2 * Y_{t-2} + \dots + A_i * Y_{t-i},$$

где Y_t — прогнозируемое значение показателя Y в момент времени t ;

Y_{t-i} — значение показателя Y в момент времени $(t-i)$;

A_i — i -й коэффициент регрессии.

Коэффициенты регрессии рассчитываются методом наименьших квадратов.

Результаты прогнозирования приведены на рис. 4, расчет сделан с учетом фактора рекламы и без него.

Номер школы	Район	год	Рекл. ама	Количество поступивших	Средний балл	Данные приемной комиссии
120	Тракторозав.	2010/2011	1	10	3,28	Данные центра довузовской подготовки
		2011/2012	1	7	3,79	
		2012/2013	0	4	3,54	
		2013/2014	0	12	3,49	
		2014/2015	0	2	2,75	
121	Советский	2010/2011	1	16	3,77	Данные ИСУ
		2011/2012	0	13	3,22	
		2012/2013	0	3	2,99	
		2013/2014	1	17	3,90	
		2014/2015	1	11	3,85	
123	Калининский	2010/2011	1	23	3,72	
		2011/2012	1	40	3,64	
		2012/2013	1	9	3,12	
		2013/2014	1	7	2,74	
		2014/2015	1	23	3,91	

- Сколько абитуриентов придет из конкретных школ. Какие факторы влияют на количество поступивших из разных школ.

Рис 3. Данные для примера

Номер школы	Район	год	Рекл. ама	Прогнозируемое Количество поступивших	Средний балл
120	Тракторозав.	2015/2016	1	9	3,31
			0	4	3,52
121	Советский	2015/2016	1	14	3,27
			0	5	3,71
123	Калининский	2015/2016	1	20	3,65
			0	12	3,54

Рис. 4. Результаты прогнозирования

Прогноз по городу в целом (155 школ) на 2015/16 г.

Район	Прогноз поступивших	
	без учета рекламы	при проведении рекламы в наиболее перспективных школах
Калининский	166	178
Курчатовский	148	163
Тракторозаводской	89	113
Металлургический	85	145
Советский	81	102
Ленининский	63	77
Центральный	61	98
Всего	693	876

Заключение. Рассмотрим возможные прогнозы.

1. Какие специальности будут наиболее востребованы в ближайшие годы? Данные: численность студентов по каждой специальности по годам, выдача электронных и печатных изданий в библиотеке, успеваемость студентов, посещаемость занятий. Метод: многофакторный анализ.

2. Какую максимальную цену готовы заплатить студенты за обучение на очной и дистанционной форме? Данные с web-ресурсов вузов, реализующих аналогичные направления в других городах, количество отчисленных за неоплату.

3. Найти наиболее перспективные web-ресурсы для размещения рекламы в будущих периодах. Ана-

лиз статистики log-файлов корпоративного портала (по годам). Метод скользящего среднего

Можно сделать вывод, что при наличии большого количества разнородных достоверных данных возможно эффективное применение методов прогнозной аналитики в учебных заведениях.

Библиографический список

1. Тихонов, Э. Е. Методы прогнозирования в условиях рынка 6 учеб. пособие / Э. Е. Тихонов. Новосибирск, 2006. 221 с.

2. Коломак, Е. А. Эконометрический анализ панельных данных : учеб. пособие / Е. А. Коломак. Новосибирск : Изд-во НГУ, 2007. 48 с.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТЕКСТА ДЛЯ ВЫВОДА ПОНЯТИЙНОЙ СТРУКТУРЫ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Рассматривается проблематика онтологического анализа данных. Предлагается подход к формированию контекста для вывода онтологических спецификаций методом анализа формальных понятий при априори известных исследователю отношениях на множестве измеряемых свойств объектов предметной области.

Одним из эффективных методов выявления понятийной структуры, или формальной онтологии, предметной области (ПрО) служит онтологический анализ данных (ОАД) стандартного протокола измерения априори интересующих исследователя свойств у наблюдаемых объектов ПрО, известного как таблица «объекты — свойства» (ТОС) [1].

В основу ОАД положен метод анализа формальных понятий (АФП) — теоретически хорошо обоснованный и активно развиваемый метод анализа данных, в котором отражен классический подход к понятию как к фундаментальному эпистемологическому элементу, определяемому объемом и содержанием [2]. Пригодность АФП для вывода понятийной структуры ПрО обусловила его широкое применение в системах информационного моделирования, например: ConExp, Galicia, ToscanaJ, Python FCA Tool [3–6]. Вместе с тем, в подобных системах, как правило, не учитываются реалии проведения эмпирических измерений в ПрО — многократные независимые измерения свойства у объекта, использование нескольких различных процедур для измерения одного и того же свойства объекта, дифференциацию доверия к различным измерительным процедурам и др.

Попытка использовать подобную несомненно важную информацию приводит к необходимости более сложного, обобщенного представления ТОС. При этом из обобщенной ТОС можно извлечь лишь «мягкие» оценки базовых семантических суждений (БСС) о ПрО вида: «объекту x присуще свойство y ». Эти оценки образуют нечеткий или в более адекватной версии нестрогий формальный контекст (ФК) задачи вывода понятийной структуры, тогда как для применения АФП необходим булевский ФК [7]. В предлагаемой работе разъясняются принципы и алгоритм формирования такого контекста по исходному нестроному.

Нестрогий ФК — кортеж (G^*, M, I) , где G^* — эмпирическая обучающая выборка объектов ПрО, M — множество свойств объектов, фиксируемых измерительными процедурами, которыми располагает исследователь, I — матрица оценок всех БСС, каждый элемент которой b_{ij} определяется в соответствии с многозначной логикой V^{TF} вектором $\langle \text{Истина}, \text{Ложь} \rangle$ [8]:

$$b_{ij} = \langle b_{ij}^+, b_{ij}^- \rangle; b_{ij}^+, b_{ij}^- \in [0, 1],$$

где компонент *Истина* b_{ij}^+ формируется свидетельствами, подтверждающими БСС, а компонент *Ложь* b_{ij}^- — отрицающими БСС.

Соответствие «объекты — свойства» I нестроного ФК может быть разложено по его булевским альфа-сечениям [8], например,

$$I = \bigcup_{\alpha^+, \alpha^- \in [0, 1]} \langle \alpha^+, \alpha^- \rangle \cdot I^{(\alpha)},$$

$$I^{(\alpha)} = (b_{ij}^{(\alpha)})_{i=1, \dots, r; j=1, \dots, s},$$

$$b_{ij}^{(\alpha)} = \left\{ \begin{array}{ll} \text{Истина}, & \text{если } b_{ij}^+ \geq \alpha^+ \wedge b_{ij}^- \leq \alpha^-; \\ \text{Ложь} & \text{в противоположном случае} \end{array} \right\},$$

где альфа-сечение $I^{(\alpha)}$ — обычное («булевское») отношение векторного уровня $\alpha = \langle \alpha^+, \alpha^- \rangle$.

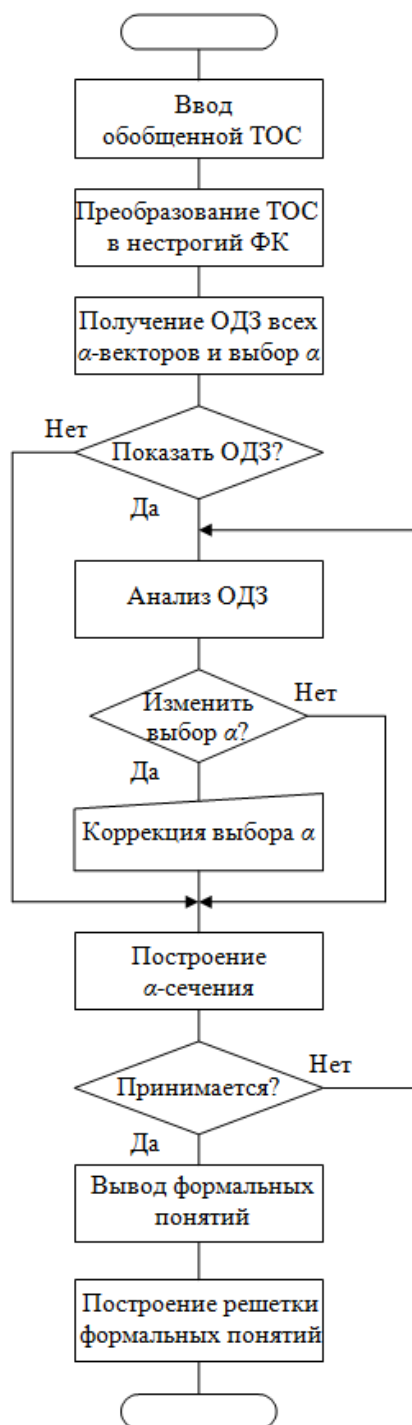
На практике альфа-сечение $I^{(\alpha)}$ обычно используют в качестве приближения так называемой « α -аппроксимации» исходного нестроного соответствия I . Однако этот прием в задаче формирования булевского ФК по его нестроному прототипу оказывается в общем случае некорректным.

Проблема состоит в том, что на множестве измеряемых свойств M априори (то есть до выявления понятийной структуры ПрО) могут существовать отношения «ограничений существования». Характерные типы подобного рода бинарных отношений рассмотрены в [9]. Так, пара свойств $m_j, m_k \in M, j \neq k$ для любого объекта ПрО (и, следовательно, для $\forall g_i \in G^*$) могут быть:

- несовместимыми: если обладая свойством m_j , объект g_i заведомо не обладает свойством m_k , и наоборот;
- обусловленными: если обладая свойством m_j , объект g_i непременно обладает свойством m_k , хотя обратное может быть неверно;
- взаимообусловленными: если обладая свойством m_j , объект g_i безусловно обладает свойством m_k , и наоборот.

В существующем понимании процедура альфа-сечения «слепа» к таким связям между элементами множеств-носителей нестроного бинарного отношения. Поэтому ее неспецифическое применение к формированию булевского ФК по исходному нестроному контексту может привести к нарушению «ограничений существования».

Идея построения специального метода альфа-сечения нестроного ФК состоит в формализации имеющихся для данного контекста «ограничений существования» в виде одноместного предиката «альфа-сечение корректно» с аргументом «порог доверия к исходным данным α » с последующим выявлением области допустимых значений (ОДЗ) α , доставляющих такому предикату значение *Истина*.



Блок-схема алгоритма альфа-сечения нестроого формального контекста и вывода понятийной структуры предметной области: формальных понятий и их решетки

В общем случае установить указанную ОДЗ для нестроого ФК оказывается весьма непросто. Не исключено и то, что она пуста. Поэтому в качестве компромиссного пути решения задачи корректной булевской аппроксимации нестроого ФК предлагается работу с общим порогом доверия α заменить манипулиро-

ванием набором порогов доверия к данным, описывающим каждый объект $g_i \in G^*$: $\alpha_{(i)} = \langle \alpha_{(i)}^+, \alpha_{(i)}^- \rangle$, а при необходимости — переходить к анализу областей выбора подходящих порогов на уровне каждого отдельного «ограничения существования» для конкретного объекта. Блок-схема такого интеллектуального алгоритма приведена на рисунке.

Использование предложенного подхода рассматривается на примере отношения несовместимости измеряемых свойств, возникающего в результате фундаментальной когнитивной процедуры ОАД и АФП — концептуального шкалирования [10]. Концептуальное шкалирование в общем случае предшествует собственно выводу понятийной структуры ПрО и целенаправленно вводится исследователем для преодоления гомогенности объектов ПрО [2].

Библиографический список

1. Смирнов, С. В. Онтологический анализ предметных областей моделирования / С. В. Смирнов // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2001. Т. 3, № 1. С. 62–70.
2. Ganter, B. Formal Concept Analysis. Mathematical foundations / B. Ganter, R. Wille. Berlin : Springer-Verlag, 1999. 290 p.
3. Concept Explorer : сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://conexp.sourceforge.net>.
4. Galicia Lattice Builder : сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iro.umontreal.ca/~galicia>.
5. ToscanaJ : сайт [Электронный ресурс]. URL: <http://toscanaj.sourceforge.net>.
6. Python FCA Tool : сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/ae-hse/fca>.
7. Смирнов, С. В. Мнозначная и нечеткая логики в онтологическом анализе данных / С. В. Смирнов // Информационные технологии и системы : тр. Третьей Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 26 февр. — 2 марта 2014 г. (ИТиС – 2014) : науч. электрон. изд. / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 87–88.
8. Аршинский, Л. В. Векторные логики: основания, концепции, модели / Л. В. Аршинский. Иркутск : Иркут. гос. ун-т, 2007. 228 с.
9. Lammari, N. Building and maintaining ontologies: a set of algorithms / N. Lammari, E. Metais // Data & Knowledge Engineering. 2004. Vol. 48(2). P. 155–176.
10. Офицеров, В. П. Метод альфа-сечения нестрогих формальных контекстов в анализе формальных понятий / В. П. Офицеров, В. С. Смирнов, С. В. Смирнов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. XVI Междунар. конф. (30 июня — 3 июля 2014 г., Самара, Россия). Самара : СамНЦ РАН, 2014. С. 228–244.

Н. С. Мясников

ОБЗОР TEXT MINING

В данном небольшом обзоре приводится понятие и задачи Text mining. Описывается область взаимодействия Text mining с другими направлениями компьютерной лингвистики и варианты применения текстового анализа.

Проникновение цифровых технологий во все сферы общества и повсеместное развитие Интернета привели к резкому увеличению роста объемов генерируемых и обрабатываемых данных. Большая часть информационных ресурсов представлена в формате неструктурированного текста на естественном языке и доступна в открытых источниках. Текст может находиться в газетах, журналах, в контенте интернет-страниц и в файлах различных организаций. В свете такого развития интеллектуальный анализ текста (далее — Text mining) стал важной областью исследований.

Text mining также известен, как Text Data Mining, Intelligent Text Analysis или Knowledge Discovery in Text (KDT), и означает извлечение ключевой и наиболее значимой информации из неструктурированного текста, написанного естественным языком. Text mining позволяет анализировать большие объемы текстовых данных в поисках тенденций, шаблонов и взаимосвязей, обнаруживая новые частички знаний.

Text mining междисциплинарная область знания, которая включает в себя такие направления компьютерной лингвистики, как интеллектуальный анализ данных (Data Mining), анализ данных в сети Интернет (Web Mining), поиск информации (Information Retrieval), извлечение информации (Information Extraction) и обработку текста на естественном языке (Natural Language Processing) [1].

Data mining и Text Mining схожи в том смысле, что обрабатывают огромные объемы данных или текста с целью обнаружения полезной информации, за тем исключением, что методы Data Mining используются для обработки структурированной информации в базах данных, тогда как методы Text Mining предназначены для обработки текста, не имеющего определенной структуры: электронные письма, сообщения в социальных сетях, чатах, интернет-статьи, газеты, журналы, HTML- и XML-файлы [1; 2].

Web mining — это использование методов интеллектуального анализа данных с целью поиска и извлечения информации, а также обнаружения полезных тенденций и шаблонов в интернет-пространстве, где источником информации являются веб-страницы. Выделяют три направления Web mining: анализ использования сети или сетевых запросов (Web Usage Mining), анализ структуры сети (Web Structure Mining) и анализ контента сети (Web Content Mining).

Анализ использования сети включает обработку log-файлов веб-сервера (истории пользователя)

с целью выявления предпочтений посетителей при использовании тех или иных ресурсов сети Интернет.

Анализ структуры сети — это процесс анализа и поиска взаимосвязей между веб-страницами. Построенные модели могут быть использованы для категоризации и поиска схожих веб-ресурсов.

Анализ контента — это извлечение полезной информации и знаний из веб-страниц [3].

Поиск информации (Information Retrieval) используется для обнаружения подходящего документа из большого массива документов. Поиск информации — это процесс отыскания релевантной информации на основе запросов (ключевых слов) пользователя, вводимых в поисковую систему. Поиск информации включает автопросмотр, тематическое индексирование, включение и отображение списка релевантных документов из всех найденных документов в интернет-пространстве. Термин «документ» является общим и подразумевает текстовые информационные ресурсы содержащиеся в файлах различных форматов.

Для больших объемов текстовых данных не достаточно традиционных методик поиска информации. Поэтому для обработки больших объемов текстовых данных применяются такие методики анализа, как классификация текста (Classification), категоризация текста (Categorization) и реферирование текста (Summarization).

Классификация используется для отнесения каждого документа к определенному классу (кластеру) с заранее известными признаками, полученными на этапе обучения. В современных системах классификация применяется, например, в таких задачах: группировка документов по общим признакам, размещение документов в определенные папки, избирательное распространение новостей подписчикам. В качестве примера можно привести автоматическое разделение веб-сайтов по темам: новости, спорт, развлечения, кино, рассказы или хобби.

Кластер представляет собой группу документов, связанных на основе некоторых параметров. Кластеризация — это автоматическое разбиение множества документов на кластеры, смысловые параметры которых заранее неизвестны. Данный метод используется для поиска групп документов со схожими признаками. Система сама должна выявить признаки и разделить объекты на основе схожих признаков по подгруппам. Кластеризация широко применяется при реферировании больших документальных массивов и определении взаимосвязанных групп документов.

Как правило, после выполнения классификации или кластеризации проводится поиск исключений с целью выяснить, насколько точно была выполнена предшествующая задача. Для этого выявляются средние параметры объектов, после чего объекты, характеристики которых отклонились от средних значений, подвергаются дополнительной обработке.

Реферирование применяется для извлечения наиболее важных сведений из одного или нескольких документов и формирования на их основе кратко изложенного материала. Данное направление подразделяется на две ветви: квазиреферирование и краткое изложение содержания первичных документов:

- квазиреферирование основано на выделении наиболее информативных фрагментов документов и формировании из них квазирефератов;

- краткое изложение исходного материала основывается на выделении из текстов с помощью методов интеллектуального анализа наиболее существенной информации и порождении новых текстов, содержащих обобщающих первичные документы [4; 5].

Главное различие между средствами реферирования состоит в том, что они формируют или набор выдержек, или краткое изложение документа.

Для обнаружения искомых терминов в документе прибегают к извлечению информации (IE — information extraction). Извлечение информации — это задача обработки текста и идентификации искомых объектов, атрибутов и взаимосвязей с извлечением семантической составляющей из полуструктурированных или неструктурированных данных. Извлечение информации относится к обработке текста, написанного естественным языком (NLP — natural language processing).

Методы обработки естественного языка (NLP) включают лингвистические понятия, такие как части речи (существительное, глагол, прилагательное и т. д.). Методы NLP: очистка слов (удаление суффиксов), лемматизация (замена слова на его начальную форму), группировка многословных фраз, маркировка частей речи (POS — part-of-speech) и расширение омонимии. Анализ текста часто использует очистку слов, лемматизацию и другие методы обработки естественного языка [4; 5].

Text Mining применим в различных сферах деятельности. К примеру, на основе определенных слов или терминов возможно автоматически отфильтровать нежелательный спам. Обработывая комментарии пользователей в блогах и социальных сетях, можно определить благосклонность или враждебность к обсуждаемой теме. С помощью Text Mining возможно определить, какие химические процессы соответствуют определенной болезни [6].

Из широкого круга различных направлений Text Mining большая доля внимания уделяется контент-мониторингу. Увеличение информационного потока

в открытых источниках и возрастание роли самой информации привело к стремительному развитию данного направления. Контент-мониторинг — это методика объективного и систематического изучения содержимого интернет пространства путем отслеживания тенденций и процессов в постоянно обновляемой сетевой информационной среде. Контент-мониторинг применим к различным тематическим направлениям, одним из которых является мониторинг научно-технической информации в открытых источниках. Такой мониторинг представляет собой автоматический круглосуточный анализ веб-сайтов и электронных версий печатных изданий по интересующим темам на различных языках в масштабе, близком к реальному времени. Из полученной текстовой информации автоматически извлекается смысловое содержание и проводится дальнейшая аналитическая обработка. Вместе с тем наибольшую сложность в ходе анализа открытых источников информации вызывает возможность дезинформации [7–9].

Подобные системы существенно упрощают и ускоряют процесс получения актуальной информации, позволяя сохранить объективность информации за счет исключения человеческого фактора как промежуточного звена в ходе мониторинга и обработки информации.

Библиографический список

1. Text mining [Электронный ресурс]. URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Text_mining.
2. Глубинный анализ текстов. Технология эффективного анализа текстовых данных [Электронный ресурс]. URL: <http://visti.net/~dwl/art/dz>.
3. Web mining [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Web_mining.
4. Компьютерная лингвистика [Электронный ресурс]. URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Компьютерная_лингвистика.
5. Барсегян, А. А. Анализ данных и процессов : учеб. пособие / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, И. И. Холод и др. 3-е изд. СПб. : БХВ-Петербург, 2009. 512 с.
6. Майер-Шенбергер, В. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим / Виктор Майер-Шенбергер, Кеннет Кукер; пер. с англ. Инны Гайдюк. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2014. 240 с.
7. Ландэ, Д. В. Поиск знаний в Internet. Профессиональная работа / Д. В. Ландэ. М. : Вильямс, 2005. 272 с.
8. Ramanathan, V. Survey of Text Mining / V. Ramanathan, T. Meyyappan // International Conference on Technology and Business Management. Dubai, 2013. P. 508–514.
9. Aggarwal, C. C. Mining Text Data [Электронный ресурс] / Charu C. Aggarwal, ChengXiang Zhai. URL: <http://charuaggarwal.net/text-content.pdf>.

КОГНИТИВНОЕ МЕТАМОДЕЛИРОВАНИЕ

Уточняется понятие знака, достаточно широко используемое в психологии, в частности, в культурно-исторической теории Л. С. Выготского, где знак понимается неформальным образом. Рассмотрены процедуры формирования знаков и самоорганизация на множестве знаков. Результатом самоорганизации является новый способ описания картины мира субъекта деятельности. На основе предложенной картины мира строятся модели некоторых функций сознания.

Введение. Ряд высших психических функций, таких как интроспекция, рефлексия, осознание мотива деятельности, целеполагание и некоторые иные, рассматриваемые в когнитивной психологии, обычно выходят за рамки исследований в области искусственного интеллекта. Связано это, по-видимому, с ограниченностью символического подхода, культивируемого в искусственном интеллекте. Одной из задач настоящей работы является преодоление этого ограничения. Для этого вводится в рассмотрение понятие знака, достаточно широко используемое как в психологии, в частности, в культурно-исторической теории Л. С. Выготского, так и в семиотике. С этой целью вначале уточняются понятие знака и процесс его формирования (актуализации). Далее показывается, что процесс формирования или актуализации знака можно рассматривать как элементарный шаг возникновения или модификации картины мира субъекта. Затем рассмотрен процесс самоорганизации на множестве знаков, который становится возможным благодаря наличию в структуре каждого знака четырех компонент. Это позволяет далее рассмотреть различные известные в психологии феномены, в частности, различные типы картин мира субъектов и важнейшие функции сознания: рефлексия, осознание мотива и целеполагание.

Введенные в работе конструкции мы относим к, условно говоря, внешнему или синтаксическому уровню картины мира субъекта поведения. Внутренний или семантический уровень содержит основные процедуры, такие как алгоритмы распознавания образов и системы правил, интерпретирующие синтаксические конструкции внешнего уровня. Его описание выходит за пределы настоящей работы и является темой отдельного исследования. Поэтому, пока мы будем апеллировать к знаниям читателя в области распознавания образов и представления знаний.

1. Знак как элемент сознания. Представление каждого предмета в сознании (которое далее будем называть элементом сознания) включает следующие компоненты: образ предмета, его значение (или назначение) и личностные смыслы [1]. Образ потенциального элемента сознания, его значение и смыслы могут не связываться в единое целое и тогда не происходит формирования (в филогенезе), или актуализации (в микрогенезе) знака, а психическое отражение фиксирует для субъекта не *личностный*, а *биологический смысл* объекта, не *образ сознания*,

но *образ восприятия* и *функциональное значение* объекта в решаемой задаче вместо *значения*, выработанного в ходе общественно-исторической практики. Поскольку три аспекта знания об объекте связаны в этом случае лишь парными зависимостями, то нужен «внешний наблюдатель», чтобы увидеть, что это три компоненты отражения одного предмета действительности [2].

Легко видеть, что понятие *образа* в психологии идентично понятию *представления* в семиотике [3; 4]: согласно понятию образа, развиваемому в когнитивной психологии, восприятие трактуется как процесс категоризации [5], что в точности соответствует понятию *представления* в семиотике — представление используется для различения объекта, соответствующего рассматриваемому знаку, среди других объектов; *личностные смыслы* интерпретируются совокупностью действий, применимых субъектом действия к предмету [1]. В прикладной семиотике [6] это соответствует *прагматической* компоненте знака — множеству действий, связанных со знаком; понятие *значения* в психологии соответствует *значению* в семиотике и семантике, то есть семантической компоненте знака.

До момента связывания в знак эти компоненты будем называть перцептом, биологическим смыслом и функциональным значением, соответственно. Связывание упомянутых компонент становится возможным благодаря именованию возникающей структуры. Это и приводит к конструкции, называемой *знаком*.

При этом знак и его компоненты становятся элементами языковой системы, то есть происходит включение знака в картину мира субъекта.

2. Формирование знака. Формирование (актуализация) знака включает следующие стадии.

0. Локализация объекта. Происходит это в пространстве, в котором наряду с четырьмя измерениями физического пространства-времени, существует пятое квазиизмерение — *измерение значений* [7] (поскольку человек как носитель сознания живет в двух реальностях — физической и языковой [8]). При этом субъект определяет положение объекта относительно самого себя. Это значит, что он должен реализовывать функцию самосознания — рефлексия — знать свои «координаты» в этом пространстве, то есть пребывать, как говорят психиатры, в ясном состоянии сознания.

1. Формирование перцепта. Основано на работе процедуры воспроизведения свойств объекта

моторикой воспринимающего органа (для живых существ) или на обработке методами распознавания образов информации, снимаемой с датчиков (для искусственных систем).

2. Порождение на основе прошлого опыта или на основе прецедентов (множества пар вида «перцепт — функциональное значение») функционального значения объекта.

3. Оценка специальным механизмом степени близости функционального значения, полученного на стадии 2 к функциональному значению, полученному на стадии 0; в случае недостаточной близости, переход к пункту 1 и продолжение формирования перцепта (в психологии сенсорно-перцептивных процессов этот механизм получил название «сенсорная уверенность»).

4. Стадии 1–3 выполняются до получения степени близости, достаточной с точки зрения специального механизма, упомянутого в пункте 3.

5. Получение субъектом из культурной среды, аккумулированной в системе естественного языка, пары «имя знака — значение» и оценка упомянутым специальным механизмом степени близости функционального значения, полученного на стадии 4 к значению, полученному из культурной среды; в случае недостаточной близости переход к пункту 1 и продолжение формирования перцепта.

6. Связывание имени из пары «имя знака — значение» с перцептом, полученным после завершения выполнения пунктов 1–5. С этого момента перцепт превращается в образ.

7. Формирование личностных смыслов знака на основе прецедентов действий с предметом.

8. Связывание имени из пары «имя знака — значение» со сформированным личностным смыслом. С этого момента функциональное значение превращается в значение, а биологический смысл — в личностный.

9. Продолжение отображения «биологический смысл — перцепт» включением в область определения отображения личностного смысла, полученного в предыдущем пункте, а в область значений — образа, полученного в пункте 6.

Замечание. Из пункта 2 следует, что формирование знака вне культурной среды невозможно.

Разумеется, стадии 0–9 описаны весьма схематично. Уточним изложенную выше схему.

2.1. Процедуры связывания. Итак, пусть: 1) A — множество смыслов (как личностных, так и биологических); 2) M — множество значений; 3) P — множество признаков объектов. Тогда: 1) $a \subseteq A$ подмножество множества личностных смыслов (возможно пустое); 2) $m \subseteq M$ подмножество множества значений (функциональное, либо культурно-историческое); 3) $p \subseteq P$ подмножество множества признаков (перцепт либо образ).

Переходы от множества свойств P к его различным подмножествам реализуются благодаря наличию у субъекта действующих встроенных процедур распоз-

навания образов. Процесс формирования знака начинается с работы именно этих процедур. На первом этапе формирования знака этот процесс приводит к формированию образа восприятия или перцепта. На внутреннем или семантическом уровне построению перцепта соответствует последовательное применение некоторого множества процедур распознавания образов [9; 10].

Подмножество a множества личностных смыслов A возникает благодаря опыту действия с предметом. По существу, сказанное означает, что речь идет о формировании m и a на основе прецедентов.

Введем далее отображения *связывания*. Заметим, что эти отображения являются частичными функциями из булеанов P , M и A в булеаны M , A и P , соответственно. Разумеется, мы полагаем, что субъект уже обладает минимальным опытом, то есть ранее выполнял какие-то действия.

Первое из таких отображений $\Psi_p^m: 2^P \rightarrow 2^M$ — процедура связывания перцепта p с функциональным значением m , так что $\Psi_p^m(p^{(i)}) = m^{(i)}$, где $p^{(i)} \in 2^P$, $m^{(i)} \in 2^M$, и 2^M — булеаны P и M , соответственно.

Второе отображение: $\Psi_a^p: 2^A \rightarrow 2^P$ связывает значения (или функциональные значения) с личностными (или биологическими) смыслами таким образом, что $\Psi_a^p(a^{(i)}) = p^{(i)}$, где $a^{(i)} \in 2^A$, $p^{(i)} \in 2^P$, 2^A — булеан A .

Отображение $\Psi_a^p: 2^A \rightarrow 2^P$ связывает личностные (или биологические) смыслы с образом (перцептом), так что $\Psi_a^p(a^{(i)}) = p^{(i+1)}$, где $a^{(i)} \in 2^A$, $p^{(i+1)} \in 2^P$.

Эти процедуры являются итерационными (верхние индексы в скобках соответствуют номеру итерации).

Действуя на основе приведенной в начале настоящего параграфа схемы 0–9, рассмотрим стадии формирования знака предмета в микрогенезе или стадии актуализации знака.

2.2. Формирование функционального значения и образа восприятия. Как мы предположили выше, субъект обладает некоторым опытом действия, который зафиксирован, в частности, в прецедентах (примерах) применения отображения $\Psi_p^m: 2^P \rightarrow 2^M$. Будем считать, что множество прецедентов есть множество упорядоченных пар вида $\langle p, m \rangle$, таких, что $\Psi_p^m(p^{(i)}) = m^{(i)}$, где $p^{(i)} \in 2^P$, $m^{(i)} \in 2^M$.

Заметим далее, что (P, T_p) и (M, T_M) суть дискретные топологические пространства с топологиями $T_p = 2^P$ и $T_M = 2^M$, соответственно. Тогда отображение $\Psi_p^m: 2^P \rightarrow 2^M$ есть отображение топологического пространства (P, T_p) в топологическое пространство (M, T_M) . Пусть $N = \langle i_1, i_2, \dots, i_n \rangle$ — последовательность итераций отображения Ψ_p^m топологического пространства (P, T_p) в топологическое пространство (M, T_M) . Тогда бинарное отношение $\geq$ является направлением на N , а $(\Psi_p^m | N, \geq)$ — последовательностью по направленному множеству N . Поскольку $\Psi_p^m(p^{(i)}) = m^{(i)}$, где $m^{(i)} \in (M, T_M)$, то Ψ_p^m — направленность в M .

Пусть m — некоторая точка в пространстве (M, T_M) , σ — система окрестностей точки m . В результате

применения отображения Ψ_p^m (то есть отображения, обратного Ψ_p^m) возникает некоторый начальный перцепт $p^{(0)}$.

В результате работы механизмов распознавания образов (рассмотрение которых мы здесь опускаем) в (P, T_p) формируется перцепт $p^{(1)}$. Отображение Ψ_p^m ставит ему в соответствие функциональное значение $m^{(1)}$ из (M, T_M) .

Далее возможны три случая: 1) $m^{(1)} = m$; 2) $m^{(1)} \notin \sigma$; 3) $m^{(1)} \in \sigma$.

Начнем со случая 2. Для большей определенности допустим, что $p^{(1)}$ — одноэлементное множество. Тогда, если $m^{(1)} \notin \sigma$, то следует выбрать, вообще говоря, другое одноэлементное множество $p^{(2)}$ и вновь применить отображение $\Psi_p^m(p^{(2)}) = m^{(2)}$. (Содержательно это означает, что признак $p^{(1)}$ был выбран неудачно и не являлся существенным. С точки зрения распознавания образов требуется настройка процедур распознавания.)

Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет получен случай 3.

В случае 3 имеет место следующее: если и только если, начиная с некоторого k , последовательность $(\Psi_p^m, \geq)$ по направленному множеству $(\Psi_p^m | N, \geq)$ остается в окрестности σ точки m , то она сходится к точке m . Однако топология (M, T_M) является дискретной, в которой любое множество является открытым. Тогда из того, что m является пределом последовательности $(\Psi_p^m, \geq)$, следует $m^{(i)} = m$, начиная с некоторого k . Этим исчерпывается и случай 1. Тогда $p^{(i)} = (\Psi_p^m)^{-1}(m) = \Psi_p^m(m)$.

Далее, в соответствие с приведенной схемой, субъект получает из внешней культурно-исторической среды пару «имя — значение» — $\langle n, m^0 \rangle$. Пусть σ^0 — система окрестностей точки m^0 в (M, T_M) . Тогда вновь следует рассмотреть три случая: 1) $m = m^0$; 2) $m \notin \sigma^0$; 3) $m \in \sigma^0$.

Если $m \notin \sigma^0$, то следует вновь применить процедуру распознавания и отображение Ψ_p^m до тех пор, пока не будет получен случай 3. Остается только применить приведенные в предыдущем абзаце соображения, заменив σ на σ^0 , а m на m^0 .

Завершается эта стадия монотонным продолжением функции Ψ_p^m на множество $\{ \langle p^{(i)}, m^0 \rangle \}$.

2.3. Именованное. Будем рассматривать процедуру получения из внешней среды пары $\langle n, m \rangle$ как функцию $M(n)$, выдающую по имени n значение m . Тогда $(\Psi_p^m)^{-1}(M(n))$ есть функция, присваивающая имя n перцепту p . Обозначим ее через $P(n)$. Иначе говоря, $P(n)$ есть функция именования перцепта. С получением имени перцепт превращается в образ.

На следующем шаге выполняется именование биологических смыслов и, тем самым, трансформация их в личностные смыслы.

Множество личностных смыслов, как было замечено выше, формируется на основе опыта действий субъекта деятельности с предметом, соответствующим

рассматриваемому знаку, и оценки успешности этих действий с помощью механизмов самосознания. Для определенности будем полагать, что этот опыт зафиксирован в отображении $a = \Psi_m^a(m)$, то есть в виде пары $\langle m, a \rangle$. Тогда функция $A(n)$ именования множества биологических смыслов a будет иметь следующий вид $A(n) = \Psi_m^a(M(n))$. Биологический смысл становится личностным смыслом (рис. 1).

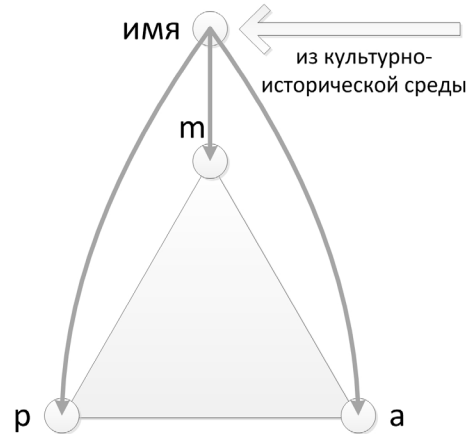


Рис. 1. Знак

Завершается этот процесс монотонным продолжением функции Ψ_p^m на множество $\{ \langle a, p \rangle \}$.

Можно показать, что: 1) тройка $\langle p, m, a \rangle$ есть неподвижная точка оператора $\Psi_p^m \Psi_m^a \Psi_a^p$; 2) если s — знак, то

$\Psi_p^m \Psi_m^a \Psi_a^p$, $\Psi_m^a \Psi_a^p \Psi_p^m$ и $\Psi_a^p \Psi_p^m \Psi_m^a$ — тождественные операторы; 3) $\Psi_p^m(P(n)) = M(n)$, $\Psi_m^a \Psi_p^m(P(n)) = A(n)$. Можно выписать еще шесть фактов такого рода.

3. Процедуры самоорганизации на множестве знаков. Рассмотрим структуры, которые могут возникать на множестве знаков как результат их самоорганизации. Моделирование самоорганизации в картине мира позволяет операционализировать представления об «активности знаний» [16], сформировавшееся в искусственном интеллекте под влиянием предложенной Л. Фестингером в 1956 г. концепции побуждающей роли знаний в поведении человека. Согласно Л. Фестингеру, знания не просто накапливаются и используются субъектом — они живут своей жизнью, вступают в отношения, образуют то гармоничные, согласованные системы представлений, то оказываются втянуты в конфликты и противопоставляются друг другу.

Начнем с рассмотрения механизмов самоорганизации, порождаемых образами знаков.

3.1. Отношения на множестве образов. Пусть $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$ множество знаков, $p = (x_1, x_2, \dots, x_g)$ и $q = (y_1, y_2, \dots, y_h)$ — образы знаков s_p и s_q , соответственно $(p, q \in \{1, k\})$.

Пусть π — множество образов знаков из S . Образы p и q из π суть множества признаков; индексы признаков указывают на их принадлежность тем или иным множествам признаков (доменам); так равенство $i = j$ свидетельствует о принадлежности признаков x_i и y_j одному и тому же множеству, например, X_i .

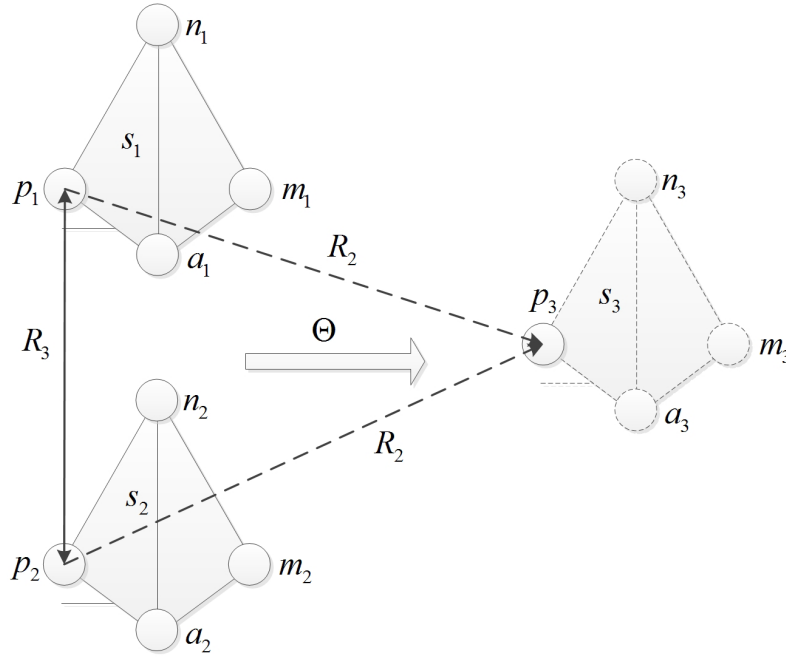


Рис. 2. Операции на множестве образов

Упорядоченные множества $\tau_p = \langle i_1, i_2, \dots, i_p \rangle$ и $\tau_q = \langle j_1, j_2, \dots, j_q \rangle$, где $i_1, i_2, \dots, i_p \in \{1, g\}$, $j_1, j_2, \dots, j_q \in \{1, h\}$, будем называть типами образов знаков s_p и s_q , соответственно.

Введем оператор *Pat*, который для всякого знака s_p просматривает все остальные знаки и выполняет указанные ниже действия (пополняет бинарные отношения):

- а) если для знака s_p и некоторого знака s_q ($p \neq q$), $\tau_p = \tau_q$ и $x_i = y_i$ то $R_1 := R_1 \cup \{(p, q)\}$, $R_1 \subseteq P \times P$;
- б) если для знака s_p и некоторого знака s_q $\tau_p \subset \tau_q$ и $\forall i \in \tau_p$ имеет место $x_i = y_i$, $R_2 := R_2 \cup \{(p, q)\}$, $R_2 \subseteq P \times P$;
- в) если для знака s_p и некоторого знака s_q $\tau_p \cap \tau_q \neq \emptyset$ и $\forall i \in (\tau_p \cap \tau_q)$ имеет место $x_i = y_i$, то $R_3 := R_3 \cup \{(p, q)\}$, $R_3 \subseteq P \times P$;
- г) если для знака s_p и некоторого знака s_q $\tau_p \cap \tau_q \neq \emptyset$ и $\forall i \in (\tau_p \cap \tau_q)$ имеет место $x_i \neq y_i$, то $R_4 := R_4 \cup \{(p, q)\}$, $R_4 \subseteq P \times P$.

По существу, приведенные определения суть процедуры порождения новых элементов отношений на множестве знаков. Стартуя всякий раз, когда множество знаков пополняется новым знаком (или когда множество знаков начинает использоваться), описанные процедуры либо формируют новое отношение, либо пополняют какое-либо из отношений на знаках новым элементом.

Это означает, что взаимодействие образов различных знаков приводит к формированию на множестве образов неоднородной семантической сети [11] с четырьмя типами отношений: эквивалентности образов (R_1), включения образов (R_2), сходства образов (R_3) и противопоставления образов (R_4).

3.2. Операции на множестве образов. Рассмотрим в качестве примера операцию *обобщения*.

Частичная операция обобщения Θ определена на множестве пар образов, принадлежащих отношению

$R_1 \cup R_2 \cup R_3$; результатом работы Θ является новый образ, включающий все *общие* признаки исходных образов (рис. 2). Пусть P — множество образов, $p_1, p_2 \in P$, $p_1 = (x_1, x_2, \dots, x_g)$ и $p_2 = (y_1, y_2, \dots, y_h)$. Тогда $\Theta: P \times P \rightarrow P$ так, что для всяких $p_1, p_2 \in P$, в которых $(p_1, p_2) \in R_3$, $\Theta(p_1, p_2) = p_3$, где $p_1 = (z_1, z_2, \dots, z_l)$ так, что для $\forall i \exists j, k$ такие, что $z_i = x_j = y_k$.

Сформированный в результате выполнения операции обобщения образ может послужить основой для формирования нового знака. Новый знак формируется аналогично формированию знака, описанному в пункте 2.

3.3. Отношения и операции на множестве личностных смыслов. Как мы видели, с каждым знаком связан некоторый личностный смысл.

На множествах личностных смыслов различных знаков оператор *Mean* естественным образом порождает отношения поглощения, противопоставления и агглютинации смыслов. Определим эти отношения. Пусть, по-прежнему, $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$ — множество знаков.

Введем множество действий ACT и функцию I , действующую из множества личностных смыслов A в булеан 2^{ACT} множества действий [15], то есть функцию каждому личностному смыслу a из A , ставящую в соответствие некоторое подмножество $act \subseteq ACT$: $I: A \rightarrow 2^{ACT}$, так что для каждого $a \in A$ $I(a) = act$, $act \in 2^{ACT}$.

Для всякого знака s отображение I ставит в соответствие каждому личностному смыслу a этого знака множество действий act , применимых к объекту, которому соответствует знак s . Эту функцию назовем *интерпретацией*.

Пусть теперь $I(a_1) = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_g)$ и $I(a_2) = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_h)$ — интерпретации личностных смыслов знаков s_1 и s_2 , соответственно; $R_5 \subseteq ACT \times ACT$ —

отношение оппозиции, то есть множество пар действий, образующих оппозиционные шкалы в смысле [12].

Определим следующие отношения на множестве личностных смыслов:

- 1) $\sqsubseteq(a_1, a_2)$ или $a_1 \sqsubseteq a_2$ (читается «смысл a_2 поглощает смысл a_1 »), если $I(a_1) \subseteq I(a_2)$;
- 2) $\perp(a_1, a_2)$ или $a_1 \perp a_2$ («смысл a_1 противопоставлен смыслу a_2 »), если $\exists \alpha_i \exists \beta_j (\alpha_i \in a_1, \beta_j \in a_2)$, что $(\alpha_i, \beta_j) \in R_5$;
- 3) $\sqcup(a_1, a_2, a_3)$ — трехместное отношение агглютидации смыслов, если $(I(a_1) \cup I(a_2)) = I(a_3)$.

3.4. Отношения и операции на множестве значений. Как было сказано выше, значение всякого знака отражает принятые в обществе способы использования соответствующего знака предмета, и поэтому может интерпретироваться некоторым действием. Тогда интерпретация значения напрямую связана с интерпретациями элементов личностного смысла знака.

Отметим, что личностный смысл, в отличие от значения, отражает индивидуальные предпочтения субъекта, в то время как значение отражает принятые в обществе способы использования соответствующего знака предмета. В лексике языка значение, таким образом, может отражаться некоторой группой синонимичных предикатных слов (глаголом, деепричастием, причастием, деепричастием), которые единственным образом характеризуются своим набором семантических валентностей.

Пусть $I = \{i_1, i_2, \dots, i_q\}$ — множество всех возможных семантических валентностей, тогда каждую группу синонимичных предикатных слов можно характеризовать каким-либо подмножеством этого множества: $I_m = \{j_1, j_2, \dots, j_k\}$, ($I_m \subseteq I$). Пусть также s — некоторый знак со значением m . Экземпляр μ значения m знака s выражается, в силу сказанного, некоторым предикатным словом и семантической валентностью, заполняемой знаком s в множестве семантических валентностей предикатного слова. Это обстоятельство будем обозначать следующим образом: $\mu(I_m, i)$, где $\mu \in m$ — экземпляр значения знака s и $i \in I_m$ — семантическая валентность предикатного слова, характеризуемого набором I_m и заполняемая знаком s (см. рис. 3).

Рассмотрим знаки s_1 и s_2 , $\mu_1(I_1, i)$ и $\mu_2(I_2, j)$ — экземпляры значений s_1 и s_2 соответственно.

Пусть далее R_5 — отношение эквивалентности, R_6 — отношение сходства, а R_7 — ситуационное отношение (на множестве значений). Введем оператор Des , который порождает эти отношения по следующим правилам:

1. Если $I_1 = I_2$ и $i = j$, то $R_5 := R_5 \cup \{(\mu_1, \mu_2)\}$.
2. Если для экземпляра значения μ_1 знака s_1 , существует экземпляр значения μ_2 знака s_2 , такое что $I_1 \cap I_2 \neq \emptyset$, $I_1 \neq I_2$ и $i = j$, то $R_6 := R_6 \cup \{(\mu_1, \mu_2)\}$.
3. Если для экземпляра значения μ_1 знака s_1 , существует экземпляр значения μ_2 знака s_2 , такое что $I_1 = I_2$, и $i \neq j$, то $R_7 := R_7 \cup \{(\mu_1, \mu_2)\}$.

С каждым экземпляром значения μ свяжем теперь метку τ , и будем записывать $\mu_1(\tau_1, I_1, i)$ и $\mu_2(\tau_2, I_2, j)$.

На множестве меток вводится линейный порядок: для $\forall \tau_1 \forall \tau_2$ справедливо $\tau_1 \leq \tau_2$, либо $\tau_1 \geq \tau_2$.

Введем сценарное отношение R_8 , определяемое на некотором подмножестве экземпляров значений $M_{scen} \subseteq M$ и порождаемое по следующему правилу:

4. Если $\mu_1 \in M_{scen}$, $\mu_2 \in M_{scen}$, $I_1 \neq I_2$, $i \neq j$ и $\tau_1 < \tau_2$, $R_8 := R_8 \cup \{(\mu_1, \mu_2)\}$.

Элементарным сценарием, порожденным знаком s , будем называть множество экземпляров значений $M_{est}(s)$ такое, что для $\forall \mu_1 \in M_{est}(s)$ и $\mu_2 \in M_{est}(s)$ имеет место:

а) если $\mu_1 \in m$, $\mu_2 \in m$ и $\tau_1 \geq \tau_2$, то $(\mu_1, \mu_2) \in R_8$ (в этом случае сценарное отношение R_8 определено на множестве экземпляров значения знака s , т.е. $M_{scen} = m$);

б) если $\mu_1 \in m$, $\mu_2 \notin m$ и $\tau_1 \geq \tau_2$, то $(\mu_1, \mu_2) \in R_7$.

На рис. 4 приведен пример элементарного сценария $M_{est}(s_1)$, порожденного знаком s_1 : сформированного двумя экземплярами μ_2 и μ_3 значения знака s_1 , такими, что $(\mu_2, \mu_3) \in R_8$. В приведенном на рисунке примере в $M_{est}(s_1)$ входят и экземпляры значений μ_1 и μ_4 , такие что $\{(\mu_1, \mu_2), (\mu_3, \mu_4)\} \subseteq R_7$, где μ_1 и μ_4 суть экземпляры значений знаков s_2 и s_3 , соответственно.

4. Самоорганизация на множестве знаков и картины мира субъекта. В соответствии с предыдущим параграфом, в результате работы механизмов самоорганизации на множестве знаков формируются три основных типа структур. Каждую из них в соответствии с [11] будем называть неоднородной семантической сетью или, поскольку это не приводит к недоразумениям, семантической сетью. Таким образом, имеем:

- семантическую сеть H_p на множестве образов,
- семантическую сеть H_A на множестве личностных смыслов и
- семантическую сеть H_M на множестве значений знаков.

Тройку объектов $H = \langle H_p, H_A, H_M \rangle$ будем называть *семиотической сетью*.

Переходы между сетями H_p , H_A , H_M реализуются, как следует из предыдущего, посредством процедур $\Psi_{m_p}^a$, Ψ_a^p и Ψ_p^m , описанных выше.

Уровень имен знаков может наследовать каждую из описанных выше семантических сетей. Благодаря такому наследованию, можно говорить о формировании той или иной семантической сети на уровне знаков (не только на уровне их компонент).

С другой стороны, в психологии существует понятие *картины мира* субъекта. Так, согласно Е. Ю. Артемьевой, в этой психической структуре следы взаимодействия с объектами фиксируются в системе опыта субъекта на семантическом уровне: «Мы смогли увидеть, как пристрастно отношение субъекта к входящему с ним в контакт предметному миру, как активно он (субъект) структурирует этот мир, создавая для себя его проекцию. Вещи всегда наделяются свойствами, характеризующими их взаимоотношения с субъектом. В частности, геометрические формы оказываются наделенными жестко сцепленными ком-

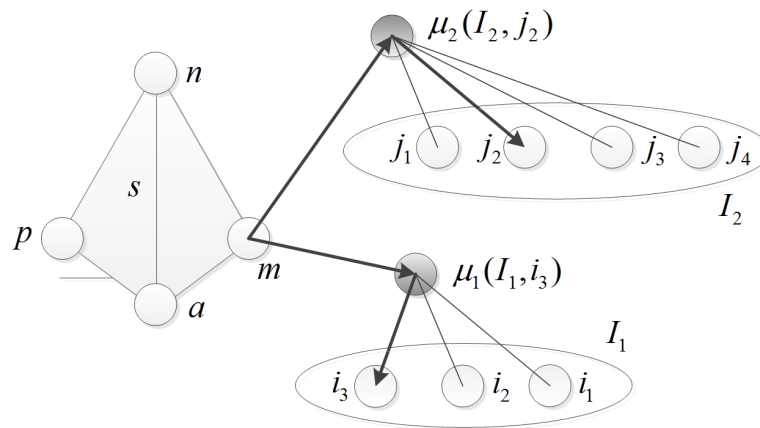


Рис. 3. Отношения и операции на множестве значений

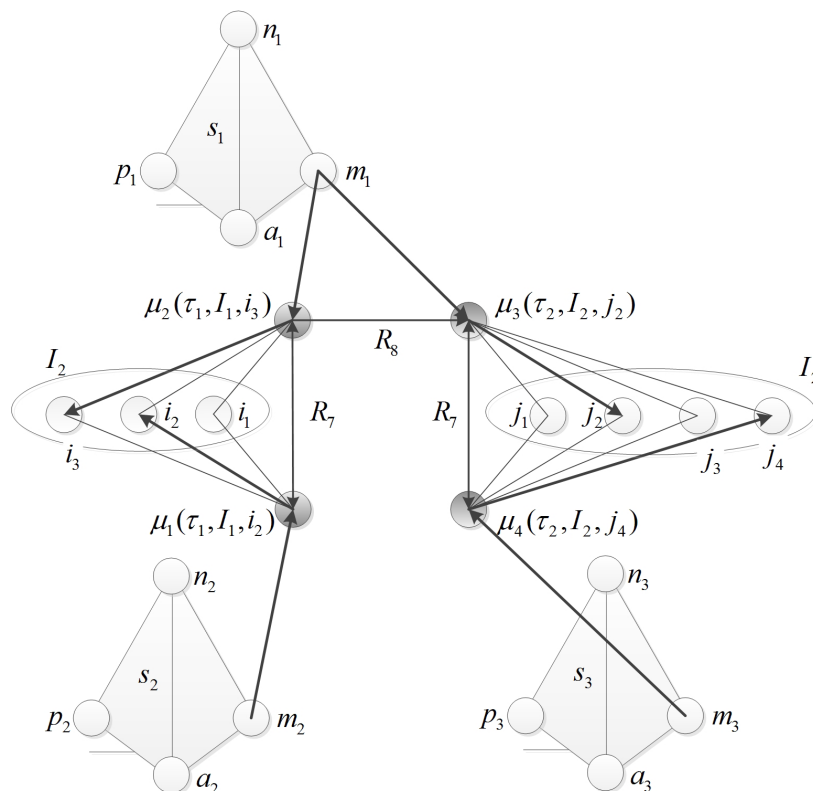


Рис. 4. Пример элементарного сценария

плексами свойств, ведущими из которых являются эмоционально-оценочные свойства. У субъекта складывается картина мира, картина свойств вещей в их отношениях к нему и друг к другу» [13]. Предлагается выделять три типа картины мира: рациональную, житейскую и мифологическую [2].

Мы видели, что на сети H_p можно определить операции обобщения (и классификации) по признакам. Именно эти операции характерны для рациональной картины мира. На основании этих соображений и ряда психологических экспериментов (описание которых остается за пределами настоящего доклада) можно полагать, что именно сеть на множестве образов (и ее наследование на уровень имен знаков) лежит в основе рациональной картины мира. Здесь надо подчеркнуть важность слов «в основе».

Все типы картин мира используют сети на образах, на смыслах и сценарии, но есть некоторая «управляющая» сеть, которая служит для формулирования цели, поиска подходящих действий, вызова сценариев и изменения личностных смыслов. Например, в рациональной картине мира в сети на образах выполняется выработка цели, затем в сети на значениях находятся подходящие роли в сценарии как условия выполнения действий для достижения цели, затем учитываются смыслы объектов, которые могут быть мотивами или препятствиями, или средствами для достижения цели [14]. Отметим, что могут быть описаны и вырожденные картины мира, в которых используются не три, а только две сети.

Житейская картина мира характеризуется следованием некоторым стереотипам или сценариям

поведения. Таким образом, наследование на уровень имен знаков сети на значениях приводит к формированию *жизненной* картины мира. Здесь также следует отметить, что сеть на значениях является лишь ведущей: моделирование, например, картины мира чиновников реализуется на двух сетях — сценариев и личностных смыслов. Поэтому при возникновении нового предмета потребности (например, выделение бюджета на науку и культуру) находится сценарий, в котором смысл цели из амбивалентного превращается в смысл препятствия. Поскольку в этом процессе не присутствуют образы, то речь идет о вырожденной картине мира. В общем случае в *жизненной* картине мира выбранный сценарий (на сети значений) пополняется образами тех объектов (в том числе партнеров), которые наилучшим образом (в соответствии с оценкой на сети смыслов) могут исполнять записанные в сценарии роли (например, начальник подбирает исполнителей в новую группу для «хорошего» выполнения нового вида работ или жених и невеста составляют список гостей на свадьбу в соответствии со своими представлениями о том, как должна выглядеть «хорошая» свадьба).

В мифологической картине мира каждая роль имеет неизменный смысл и заданный образ, то есть ведущей в этом случае является сеть на смыслах. Иначе говоря, наследование сети H_A на уровень имен знаков приводит к формированию *мифологической* картины мира.

Заключение. В докладе рассмотрен знаковый или семиотический подход к представлению элементов сознания, механизмов самоорганизации элементов сознания и построению картин мира субъектов деятельности. Предложенный подход позволяет естественным образом описать ряд функций сознания, таких как формирование цели поведения, рефлексия, осознание мотива деятельности и другие. На основе этого подхода возможна реализация интеллектуальных агентов, способных к образованию коалиций, целеполаганию и распределению ролей внутри коалиции.

Библиографический список

1. Леонтьев, А. Н. Деятельность. Сознание. Личность / А. Н. Леонтьев. М.: Политиздат, 1975. 304 с.
2. Чудова, Н. В. Концептуальное описание картины мира для задачи моделирования поведения, основанного на сознании Н. В. Чудова // Искусствен. интеллект и принятие решений. 2012. № 2. С. 51–62.
3. Пирс, Ч. С. Начала прагматизма. Т. 2. Логические основания теории знаков Алетея / Ч. С. Пирс. СПб.: Алетея, 2000. 352 с.
4. Готтлоб, Ф. Логика и логическая семантика / Фреге Готтлоб. М.: Аспект Пресс, 2000. 512 с.
5. Брунер, Дж. Психология познания. За пределами непосредственной информации / Дж. Брунер. М., 1977. 782 с.
6. Поспелов, Д. А. Введение в прикладную семиотику / Д. А. Поспелов, Г. С. Осипов // Новости искусствен. интеллекта. 2002. № 6. С. 28–35.
7. Леонтьев, А. Н. Образ мира. / А. Н. Леонтьев // Избранные психологические произведения. М.: Педагогика, 1983. С. 251–261.
8. Лурия, А. Р. Язык и сознание / А. Р. Лурия; под ред. Е. Д. Хомской. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 320 с.
9. Журавлев, Ю. И. Корректные алгебры над множествами некорректных (эвристических) алгоритмов. Ч. I / Ю. И. Журавлев // Кибернетика. 1977. № 4. С. 5–17.
10. Журавлев, Ю. И. Об алгебраической коррекции процедур обработки (преобразования) информации / Ю. И. Журавлев, К. В. Рудаков // Проблемы прикладной математики и информатики. М.: Наука, 1987. С. 187–198.
11. Осипов, Г. С. Построение моделей предметных областей. Ч. I. Неоднородные семантические сети / Г. С. Осипов // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1990. № 5. С. 32–35.
12. Kelly, G. A. The psychology of personal constructs: Vol. 1. A theory of personality / G. A. Kelly. London: Routledge. 1991.
13. Артемьева, Е. Ю. Психология субъективной семантики / Е. Ю. Артемьева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980. 128 с.
14. Чудова, Н. В. Переработка опыта как функция образа мира // Искусствен. интеллект и принятие решений. 2014. № 3. С. 40–45.
15. Осипов, Г. С. Архитектура и управляемость дискретных динамических систем, основанных на знаниях / Г. С. Осипов, Т. Г. Лебедева // Изв. АН. Теория и системы управления. 2000. № 5. С. 703–709.
16. Фестингер, Л. Теория когнитивного диссонанса / Л. Фестингер. СПб.: Ювента, 1999. 317 с.

И. А. Степановская

ПРИБРЕТЕНИЕ ЗНАНИЙ ДЛЯ МНОГОАГЕНТНОГО РИСК-КОНТРОЛЛИНГА НЕЛИНЕЙНЫХ РАЗВИВАЮЩИХСЯ СИСТЕМ, ОСНОВАННОЕ НА ФРАКТАЛЬНОЙ ОНТОЛОГИИ ДИНАМИКИ СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

Рассматриваются методологические принципы приобретения знаний для многоагентного смарт-контроллинга развития крупномасштабных систем.

Инновационный подход к управлению развития крупномасштабных систем базируется на применении «умных» сред, называемых «кибер-физическими системами» (Cyber Physical Systems — CPS), функционирующих без вмешательства человека. Системы класса CPS реализуют многоагентные технологии распределенного управления и базируются на использовании когнитивных агентов, способных к приобретению, взаимному обмену и использованию знаний [1]. Считается, что каждый агент владеет частичным представлением о глобальной проблеме. Поэтому в CPS-системах возникает весь спектр задач, который распределяется между агентами в соответствии с областью и уровнем их компетентности. В отличие от классического подхода к управлению, осуществляемого на основе некоторого четко определенного алгоритма, в CPS-системах решение формируется в ходе информационного взаимодействия агентов. Системы класса CPS имеют разнообразную реализацию, в том числе в виде умных материалов (например, «CPS на кристалле»); интеллектуальных систем, способных к самодиагностике, самоэксплуатации и самовоспроизведению; конвергентных инфраструктурных услуг (производственных, транспортных, экологических и др.). Одно из показательных направлений внедрения CPS-систем составляет организация самоуправляемых производственных процессов, агентами которой служат системно-индексированные мобильные и стационарные элементы исполнительной системы (программы, станки, оборудование, детали, транспортные системы и др.). Информация об уровне и области компетенции, текущих целях и задачах деятельности каждого агента может распространяться с помощью проводных и беспроводных информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), например, радиочастотной идентификации (RFID — RadioFrequencyIdentification) и навигации GPS/ГЛОНАСС. На фоне практически неограниченной сферы применения CPS-систем актуальной проблемой становится разработка унифицированных методов и средств приобретения и обмена знаниями в многоагентных системах управления. Для решения этой проблемы предлагается концепция облачной когнитивной ИКТ приобретения знаний на основе реактивного мониторинга, встроенного в контур многоагентного риск контроллинга «развивающейся системы развивающихся систем» (PCPC).

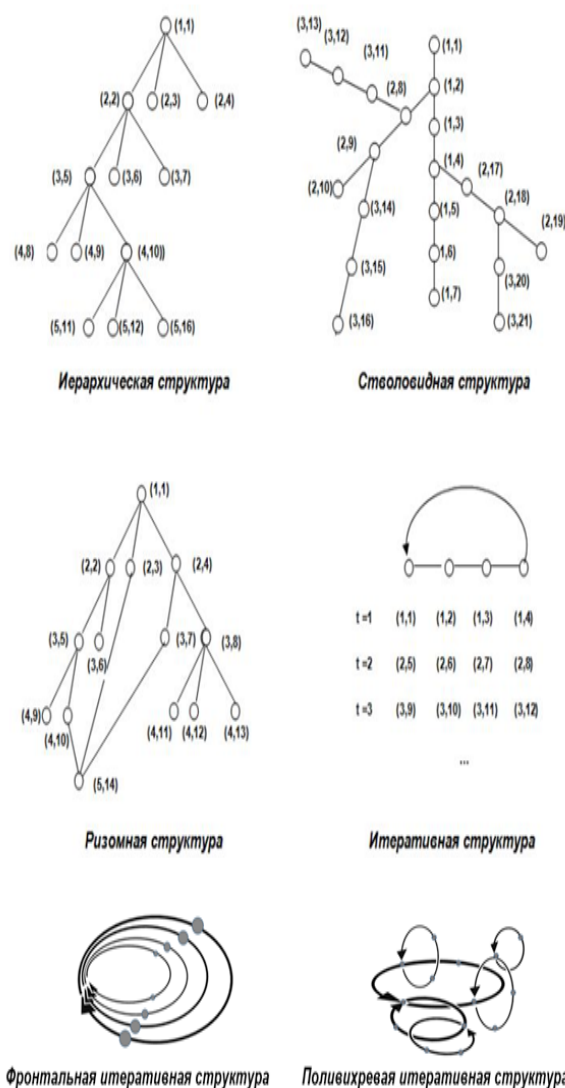


Рис. 1. Примеры структур масштабного роста фрактала

Предлагаемая концепция приобретения знаний ориентирована на информатизацию раннего распознавания и быстрого реагирования (Early Detection and Rapid Response — ED&RR) на возникновение и системную динамику синергетических эффектов от факторов влияния, способных оказать влияние на развитие стимулирующего или угрожающего характера. Основанием выбора этого принципа служит положение о нелинейности развития крупномасштабных систем, проявляющейся в разных формах, например, в виде резких изменений

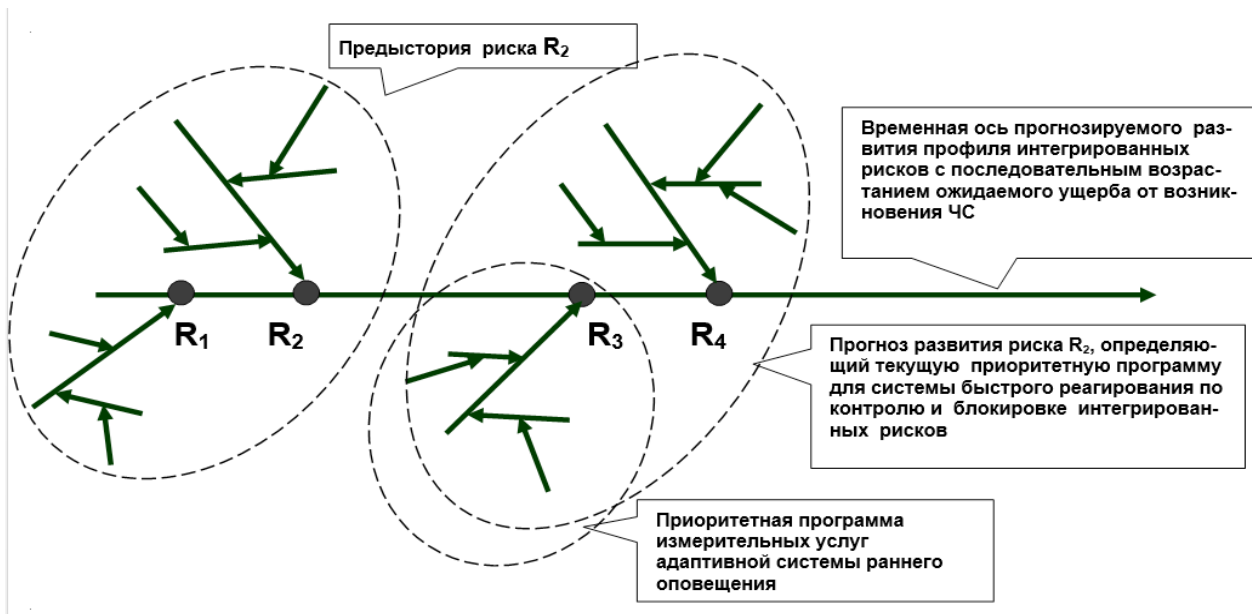


Рис. 2. Примеры структур масштабного роста фрактала

состояния и внезапного возникновения угроз развитию на относительно коротких интервалах времени, а также в виде отдаленных последствий управления развитием, противоположных ожидаемым результатам. В рамках нелинейной модели стратегия управления, основанная на гипотезе пропорциональности приращения управляемых параметров приращению управляющих параметров, оказывается неприменимой. Модель контроллинга синергетических эффектов в управлении развитием нелинейных процессов соответствует стратегии прорывного и ускоренного развития за счет малых управляющих воздействий, формирующих системообразующие эффекты резонансного роста, сочетающейся со стратегией непрерывного контроля возникновения рисков.

Ключевую проблему моделирования системной динамики рисков в контуре риск-контроллинга составляет унифицированное формальное описание развития синергетических эффектов на фоне системной динамики РСРС, включая явления, события, процессы и другие. Для решения этой проблемы предлагается фрактально-ориентированная информационная технология индексации «событий» на каждом из этапов динамического развития элементов произвольной природы, которая фокусируется только на структурной модели роста, независимо от понимания содержания и сути «развития» [2]. Примеры базовых образцов, способных к интеграции с многомерными модулями мультифрактального когерентного развития, приведены на рис. 1.

Образец иерархической структуры соответствует схеме вейвлет-контроля синергетических эффектов, распространяющихся с элементов нижнего уровня на агрегаты, подсистемы и далее на систему в целом. Образец ризомной структуры формально описывает диффузное распространение синергетических эффектов, проявляющихся на более поздних этапах развития. Образец стволовидной структуры демонстрирует процесс после-

довательного изменения профиля синергетических эффектов по мере интеграции независимо развивающихся синергетических эффектов меньшей мощности. Фронтальная итеративная структура описывает пространственное распространение затухающих по силе влияния процессов. Поливихревой образец, составленный из контуров отрицательной обратной связи, идентифицирует неуклонный рост угроз и приближение к кризисным состояниям. И наоборот, поливихревой образец, составленный из контуров положительной обратной связи, идентифицирует процесс неуклонного развития. Рис. 2 на примере стволовидной структуры роста угрозы риска иллюстрирует аналитический потенциал фрактальной модели развития в области представления знаний в области ситуационного моделирования динамики развития, прогнозирования ожидаемых событий, планирования приоритетных процессов мониторинга.

Соответствующее инструментальное обеспечение строится в виде проблемно-ориентированных сервисов сопровождения информационных потоков по всем этапам их жизненного цикла, представленных на рис. 3.

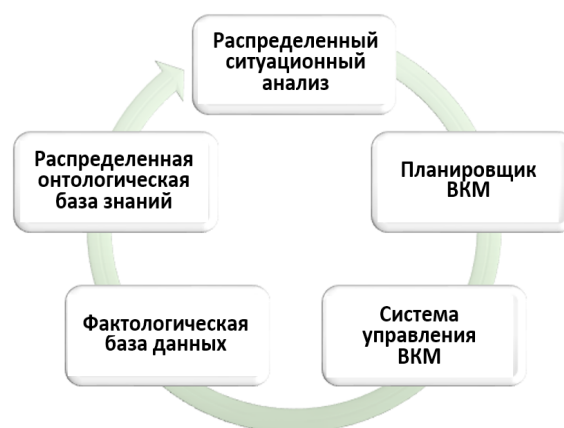


Рис. 3. Циклическая структура планирования и реализации процесса приобретения знаний

Каждый раз по результатам текущего цикла ситуационного анализа осуществляется уточнение задач ситуационного анализа следующего цикла, а также оформление и исполнение заказа на соответствующие услуги мониторинга определенных объектов и свойств контролируемых систем, явлений и событий предметной области. Данные, получаемые из возможных источников, рассматриваются в виде фактов, которые анализируются в фактологической базе данных, допускающей настройку на правила отбора и структуризации фактов. Из фактологической базы данных факты поступают в распределенную онтологическую базу знаний, обслуживающую персонифицированный ситуационный анализ.

Рассмотренный подход к приобретению знаний прошел апробацию в области организации экологического контроллинга водных бассейнов, финансово-экономического контроллинга интегрированных производственных структур, финансового контроллинга бюджета федеральных целевых программ

(в региональном, программном и отраслевом разрезах) и др. [3; 4].

Библиографический список

1. Малинецкий, Г. Г. Когнитивный вызов и информационные технологии / Г. Г. Малинецкий, С. К. Маненков, Н. А. Митин, В. В. Шишов // Вестн. Рос. акад. наук. 2011. Т. 81, № 8. С. 707–716.
2. Буховец, А. Г. Фрактальный подход к анализу данных в моделях многомерной классификации / А. Г. Буховец, Е. А. Буховец, Т. Я. Бирючинская // Современ. экономика: проблемы и решения. 2011. № 7 (19). С. 149–160.
3. Управление развитием крупномасштабных систем / под ред. А. Д. Цвиркуна. М. : Изд-во физ.-мат. лит. 2012. 496 с.
4. Stepanovskaya, I. A. Integrated Risks of Territorial Security: Organizational Principles of Monitoring / I. A. Stepanovskaya // Automation and Remote Control. 2014. Vol. 75, № 11, P. 2077–2085.

Л. Л. Чекалов

ПАМЯТЬ И ВНИМАНИЕ В БИОЛОГИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Определяется набор понятий для описания памяти и внимания биологических и информационных систем. Понятие информации применяется как универсальное средство описания биологических и информационных систем. Многослойное строение биологических и информационных систем приводит к различиям в видах информации, используемой в каждом слое.

Память и внимание являются основой принятия решений и управления любой системой. Выдвигается тезис о принципиальном отличии двух способов обработки информации и принятия решения, обусловленных внутренним механизмом обработки информации в биологических и информационных системах.

Введение. Проблемой описания любого объекта или процесса является выбор понятий, позволяющих сделать достаточно адекватное описание как текущего состояния этих объектов, так и их эволюционные изменения (процесса). При выборе набора понятий нужно совершенно четко понимать, что неадекватный набор выбранных понятий и отношений между ними будет в дальнейшем сильно ограничивать возможности описания и нашего понимания объектов или процессов.

Известный астрофизик А. Эддингтон предложил аналогию: «Теория — это сеть, которую мы забрасываем в мир. Все, что мы выловим в океане природы этой сетью, — это и есть предмет теории». Остальное может остаться незамеченным. Таким образом, очень часто мы «видим» в объектах только то, что мы заранее предполагали и хотели увидеть в рамках существующей научной картины мира или гипотезы, созданной в нашей памяти.

В данной работе делается попытка описать память и внимание как универсальные функции в биологических и информационных системах, используя философские понятия высокого уровня абстракции — материя, энергия, информация, движение, пространство, время, управление, форма, многослойность, структура.

Понятия материи, энергии, информации (единое явление, обозначаемое тремя знаками, также как и понятия пространства, движения и времени) тоже имеют единое значение (смысл). Рассматривать материю без энергии и информации также бессмысленно, как и рассматривать движение вне пространства и времени.

В рамках этой статьи под термином «биологические системы» (БС) понимаются субъекты животного мира и человек, а под термином «информационные системы» (ИС) — совокупность данных, алгоритмов и технических средств.

При определенных условиях и соглашениях по терминологии БС можно описывать средствами описания ИС, используя центральным понятие информации.

Под информацией в данном случае понимается комплекс свойств и состояний самой БС, а также их изменение при движении и взаимодействии с объектами или субъектами внешнего пространства или частями внутреннего пространства. Информация в сво-

ем проявлении может иметь совершенно различные свойства, отражающие соответствующие характеристики материального мира. Например, дискретность и непрерывность фундаментальное свойство материального мира, и соответственно информация имеет свойства дискретности и непрерывности [1. С. 257].

Многослойность биологических систем. Как один из результатов эволюции принимается факт выделения формы БС в пространстве. Форма сформирована в процессе многослойной эволюции как в материальном смысле, так и в функциональном.

Названия слоям даны с некоторой степенью условности. Также нужно уточнить, что физический слой представляет собой тело БС, психический слой (животное восприятие мира), сознательный и, в некоторой мере, духовный слои (сознание современного человека) [2. С. 318].

Также биологическая система имеет свою ограниченную в пространстве, движении и времени форму, относительно которой можно разделить пространство на внешнее и внутреннее.



Рис. 1. Многослойность внешнего и внутреннего пространства БС

Многослойность информационных систем. Информационная система имеет свои внутренние (не в смысле пространства, а в смысле логики функций этой системы) алгоритмы и данные, а также внешние алгоритмы и данные для описания внешних воздействий и внешних текущих ситуаций, которые в совокупности и являются памятью информационной системы.

Слой технических средств ИС включает в себя физические носители памяти, процессор(ы) и дополнительные технические средства.

Первичное управление работой технических средств и прикладных программ осуществляет операционная система.

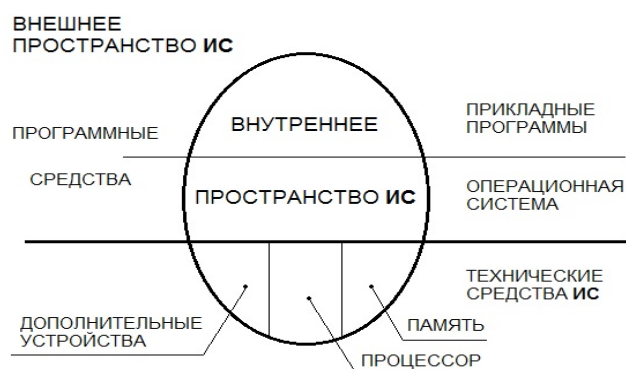


Рис. 2. Многослойность внешнего и внутреннего пространства ИС

Память. С информационной точки зрения память и есть хранилище данных (статическая информация) и алгоритмов (динамическая информация).

С биологической точки зрения память — это тоже хранилище психических образов (статическая информация), связанных с физическими ощущениями различных органов чувств и структур изменений этих образов (динамическая информация). В какой форме хранится в памяти эта информация в биологической системе до сих пор непонятно, но сам факт ее хранения никем не оспаривается.

Форма БС и ИС каждую секунду подвергается бесконечному множеству физических воздействий внешнего пространства — текущая ситуация (ТС) — от механических до электромагнитных и гравитационных.

Все воздействия порождают в БС противодействие для удержания собственного равновесия. Это сопротивление внешнему воздействию вызывает у БС вполне определенное ощущение (чувство). То есть любое воздействие на БС приводит к появлению чувства, которое соответствует физическому воздействию, но не является им. И это чувство, связанное с сопротивлением воздействию, запоминается БС.

Таким образом, БС сохраняют не столько информационные образы, но и связанные с ними чувства (ощущения, эмоции), как от очень сильных (отрицательных, положительных и достаточно нейтральных) до очень слабых и почти незаметных. Именно незаметность и слабый тон некоторых чувств создают иллюзию их отсутствия. Хотя по отношению к БС любая информация сопровождается, идентифицируется и является именно чувством. Чувство здесь является знанием и информацией.

Память в общем смысле является и для ИС и для БС прошлым опытом поведения (движения) системы. Память всегда связана с прошлым, но использу-

ется для принятия решений и управления в будущих ситуациях.

Память БС объединяет все четыре слоя взаимодействия формы (рис. 1) с внешним пространством в общем фрагменте. И если на физическом уровне любое взаимодействие формы с внешним пространством может быть дискретным (квант света, тактильное раздельное возбуждение нейронов), то на психическом уровне эти дискретности переходят в непрерывные «картинки» — чувство внешнего пространства. Именно это объединение фрагментов взаимодействия дает определенный психический образ.

Внимание возникает на границе внешнего и внутреннего пространства и во внутреннем пространстве биологических и информационных систем.

Внимание БС — это ограниченный из гораздо большего объема объем физической информации ТС, воздействующий на внутреннее пространство и вызывающий определенное чувство или ощущение. ТС можно определить как информацию о состоянии внешнего и внутреннего пространства.

В результате, текущая ситуация, ограниченная объемом внимания, активно переводится от физической информации (колебаний звуковых или световых волн) в психическую (слова или зрительные образы). Сам процесс перехода от физической информации к психической связан с физическим воздействием в пределах ТС на органы чувств субъекта. Это физическое воздействие не известным современной науке способом (мало зависящим от воли и управления субъекта) в течение 200–400 мс [3. С. 66] сравнивается со «всей» памятью субъекта. В результате, физическая информация переходит в субъекте в психическую, так как память содержит в связанном виде физическую и психическую информацию.

Этот ограниченный объем физической информации, переведенной на основе чувства БС из физической в психическую, при сравнении с памятью и является нашим текущим осознанием себя и своей личности.

Детальный механизм этого перехода от физической информации к психической мы не знаем, но этот переход постоянно осуществляется каждую секунду в нас и мы чувствуем его. Истинность и достоверность этого процесса отработывалась миллионы лет на субъектах живой материи обеспечивая им выживание.

Внимание (осознание) при этом постоянно смещается (движется) в пространстве и времени. На данный момент субъект не управляет остановкой этих смещений, хотя частично управляет их направлением.

В слое технических средств внимание ИС можно строго определить как текущую работу процессора или группы процессоров (распределенное внимание). Но это слишком узкий диапазон принятия решений и можно в понятие текущего внимания включить группу выполняемых в данный момент программ (алгоритмов) ОС и одну или группу прикладных программ (алгоритмов), активизированных

в ответ на одно воздействие внешнего пространства. Здесь можно как ограничивать перечень прикладных программ, включаемых в понятие текущего внимания, так и расширять в случае необходимости.

В любом случае, внимание ИС представляет собой последовательный дискретный алгоритм.

Можно рассмотреть понятие внимания ИС на примере смартфона. Алгоритм постоянно пробегает последовательно группу точек контроля воздействия внешнего пространства на внутреннее (экран, кнопки включения, громкости и т. п.). При отклонении на точках контроля от определенных параметров запускаются алгоритмические процессы: сначала распознавания воздействия, а потом соответствующей реакции на него. То есть, физическая информация внешнего пространства сравнивается с соответствующей физической информацией в памяти внутреннего пространства, запускается алгоритмический процесс реакции на физическое воздействие. После того как найден алгоритмический процесс, соответствующий физической информации, можно говорить об условном переходе от физической информации ИС к «психической». Тем более, что эти алгоритмы создавал человек (БС), исходя из собственной психической информации.

Но если ИС просматривает (внимание) каждое физическое воздействие последовательно (пошагово, алгоритмически) и пошагово находит ему соответствие в памяти, то БС в течение 200–400 мс переходит от физического воздействия к целостному восприятию (зрительный образ) — чувству объектов без алгоритма. То есть ИС работает по алгоритму, а БС работает по чувству. В обоих случаях информация переводится с физического уровня на психический, но только с точки зрения БС.

ИС работают только с физической информацией. ИС не обладают возникновением чувства при воздействии на них физического мира, которое сопровождает любой контакт БС с внешним пространством. Если только не считать этим чувством сами физические законы.

Субъект может переключать внимание с внешнего пространства на внутреннее пространство — чувствовать собственное тело и на основании этого чувства управлять им.

Некоторые части тела хотя и ощущаются субъектом, но у него почти нет возможности и опыта управлять ими (внутренние органы — печень, почки и т. д.). А при отсутствии опыта управления ими это управление может быть небезопасно. Еще одна зона частично доступа внимания — сама память.

Виды обработки информации и принятия решений. Таким образом, каждые 200–400 мс происходит неуправляемое субъектом БС принятие решения, связанное как с переходом от физической информации к психической при сопоставлении текущей физической информации с физической информацией в памяти. Но переход от физической информации к психической может осуществиться только в том случае, если

субъектом БС накоплен связанный с данной физической информацией психический опыт.

Если перейти к рассмотрению физиологического уровня БС, то можно отметить, что субъекты БС (человек) имеют психофизиологические различия левого и правого полушарий мозга, что позволяет субъекту по-разному воспринимать действительность и накладывает особые ограничения на обработку информации и принятие решений. Назовем особенности левого и правого полушарий.

Функциональные особенности левого полушария (ЛП): ведает логическим мышлением, знаковым восприятием действительности, аналитическим расчленением целого на элементы.

Функциональные особенности правого полушария (ПП): отвечает за образное мышление, за целостное восприятие объектов; позволяет одновременно охватывать все имеющиеся в предмете связи [4. С. 29].

У субъекта возможно смещение доминанты в обработке информации между левым и правым полушарием, что приводит к различным вариантам принятия решений. Доминанта — сознательная или неосознанная задержка (концентрация) внимания на определенной части внешнего или внутреннего пространства субъекта.

Любую ситуацию, связанную с принятием решения (ПР) можно представить в пространстве-времени как на рис. 3.

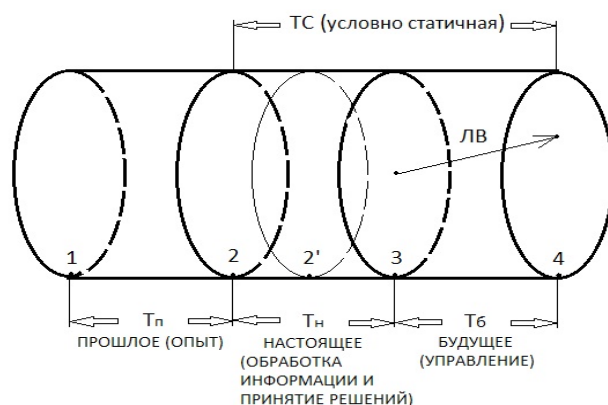


Рис. 3. Схема обработки информации, принятия решения и управления

Назовем необходимые шаги принятия решения и управления:

- 1) прошлый опыт (1–2);
- 2) текущая ситуация (2);
- 3) сравнение ТС с опытом (обработка информации) (2–3);
- 4) принятие решения (3);
- 5) управление движением в пространстве (3–4).

ЛП будет выполнять эти шаги (дискретную обработку информации) по следующей схеме.

Первый шаг — дискретный фрагментарный алгоритмически взаимосвязанный; ориентирован на ограниченное количество целей и поддается описанию

знаковыми системами. Вернее он формируется в процессе обучения через знаковые системы.

Второй шаг дискретизируется (или фрагментируется) алгоритмически по набору параметров в соответствии с целями прошлого опыта (время между точками 2–2' больше нуля). Точка 2' на рис. 3 характеризует окончание предварительного этапа обработки информации (дискретизация ТС). Изначально ТС непрерывна при отсутствии субъекта.

Третий шаг — дискретная ТС сравнивается алгоритмически с дискретным опытом (время между точками 2'–3 больше нуля).

Четвертый шаг. Принимается решение — точка 3. Если необходимо, подтверждение истинности ПР в сознании до начала практической реализации происходит на основе алгоритма.

Пятый шаг. Практическая проверка истинности принятого решения и попытка его совмещения с целью.

У правого полушария схема будет несколько иная.

Первый шаг непрерывно-дискретный, более целостный, менее фрагментарный.

Во время второго, третьего и четвертого шагов текущая ситуация дискретизируется, сравнивается с опытом и принимается решение на основе ощущения (чувства). Все три действия проходят «одновременно» и подтверждение истинности ПР в сознании проводится без участия алгоритма на основе ощущения «мгновенно» (время между точками 2–3 стремится к нулю).

Пятый шаг — практическая проверка истинности принятого решения.

Нельзя сказать, что левое и правое полушария функционируют раздельно, наоборот, субъект никогда не может полностью отключить одно из полушарий, но в определенные промежутки времени при ПР доминирует то одно, то другое полушарие. Соответственно, происходит либо более дискретная обработка информации, либо более непрерывная.

Информация проявляется для субъекта в виде двух предельных состояний — дискретной и непрерывной. Дискретность и непрерывность — это качественная и/или количественная неоднородность в пространстве и/или времени. По отношению к субъекту дискретность и непрерывность информации связана с его способностью различать эту неоднородность на физическом и/или психическом уровне, то есть связана с относительными свойствами его собственной неоднородности по отношению к пространственно-временной неоднородности воздействия. Отсюда разная скорость показа фотокадров в одном случае будет восприниматься как слайд-шоу, а при увеличении скорости — как кино. Если пространственно-временная плотность и скорость поступающей через органы чувств информации выше возможности реакции органов чувств и скорости обработки информации субъектом (это время, требуемое осознание, — переход информации с физического уровня на психический), то воспринимаемая информация будет непрерывной.

В этом смысле ИС производит количественные и алгоритмические (дискретные) сравнения ТС с памятью, а БС производит также качественные непрерывные сравнения огромного объема дискретной информации ТС с огромным объемом непрерывной физической и психической информации в памяти.

Критерии истинности обработки информации и принятия решений. Очень интересен вопрос объективности дискретной и непрерывной обработки информации и, соответственно, принятия решения. Объективность дискретной и непрерывной ОИ, ПР и УП в конечном счете подтверждается достижением с той или иной степенью точности поставленной цели управления. Но есть промежуточный этап — точка 2', расположенная до начала практической реализации управления в точке 3 (рис. 3), где возможна алгоритмическая проверка возможности достижения поставленной цели (хотя она может проводиться и параллельно с выделением цели в процессе ПР). Такая проверка, дополнительно, является способом интерсубъективного дискретного обмена для объяснения причин именно такого ПР и УП.

В случае с непрерывной обработкой информации до точки 3 невозможно ни алгоритмически вывести и проверить принятое решение, ни вступить в интерсубъективное общение, потому что переход от точки 2 к точке 3 происходит «мгновенно». После точки 3 мы можем уже попытаться обосновать ПР и УП как для себя, так и для других, но к реальному процессу ОИ и ПР — это не будет иметь никакого отношения. Но как само ПР при непрерывной ОИ, несмотря на это, все равно претендует на истинность и по каким причинам? Эволюционно основной задачей БС было: ориентация во внешнем пространстве, управление движением своего внутреннего пространства для движения во внешнем пространстве (животный период эволюции), управление движением своего внутреннего пространства для изменения объектов внешнего пространства (человеческий период эволюции).

От истинности таких решений зависело выживание БС во внешнем пространстве, поэтому настройка непрерывной обработки информации БС на истинность — тоже результат естественного отбора. Если субъектом БС не объективно воспринимается внешняя ситуация, не корректно происходит управление телом, то либо субъект остается голодным и умрет, либо его съедят.

Отсюда непрерывная обработка информации, истинность результата который подтверждается только лишь чувством, направлена на истинность, если только нам удастся ощутить это чувство. Но если мы исходя из каких-то соображений не принимаем это чувство и делаем неверное решение, то весь организм сигнализирует об этом. На этом и основана работа детектора лжи. Видимо существуют устойчивые зоны мозга, в которых пересекаются обработка информации и управление внутренними органами. И если сознательно наруша-

ется истинная ОИ, то тут же нарушается неосознанное управление внутренними органами.

Таким образом, объективность работы сознания в части восприятия мира, обработки информации, принятия решений и управления телом — составная часть эволюционного процесса по развитию функций сознания. Человеку от природы достался инструмент, которым он пользуется в меру жизненной необходимости, в основном не думая о его возможностях и функциях.

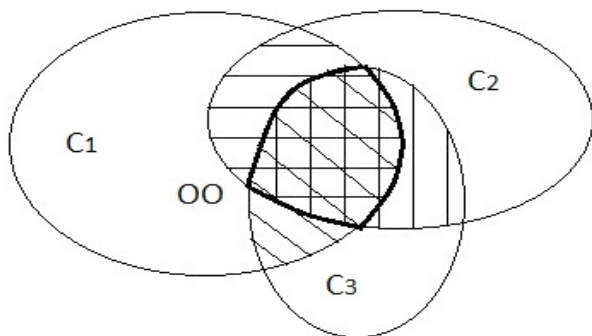


Рис. 4. Пересечение зон дискретного и непрерывного опыта трех субъектов

Интерсубъективная функция дискретной информации. Еще один интересный вывод следует из наличия и применения субъектом непрерывной обработки информации и опыта — его невозможно передать другому субъекту. Дискретная составляющая опыта передается в любой знаковой форме, а непрерывная — всегда остается достоянием самого субъекта. Понимание трех субъектов при общении, а оно возможно пока только на дискретном уровне, происходит только в зоне пересечения общего непрерывного и дискретного опыта ОО (рис. 4).

На самом деле рис. 4 должен быть нарисован объемным, где большинство дискретного обозначения

непрерывного опыта совпадает (допустим на уровне русского языка), а вот непрерывная часть (смыслы, значения) очень часто расходится в содержании. Одним и тем же словом у различных субъектов может обозначаться различный непрерывный опыт. Так появляется проблема «другого сознания» [5. С. 24], где при совпадении дискретной составляющей (знаков) существенно может различаться непрерывная часть (значения и смыслы слов).

Заключение. Можно отметить, что внимание и память — это два взаимосвязанных понятия, характеризующих взаимодействие формы ИС и БС с внешним пространством. Основу этого взаимодействия составляет память, то есть опыт ИС и БС, а внимание определяет фрагменты опыта, используемые в той или иной текущей ситуации.

Библиографический список

1. Корогодин, В. И. Информация как основа жизни / В. И. Корогодин, В. Л. Корогодина. Дубна : Феникс, 2000. 208 с.
2. Чекалов, Л. Л. Соотношение понятий знак и значение в интерсубъективном управлении и описание различных познавательных характеристик субъектов / Л. Л. Чекалов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. XV Междунар. конф. (25–28 июня 2013 г. Самара, Россия). Самара : Самар. науч. центр РАН, 2013. С. 317–326.
3. Анохин, К. В. Что происходит в мозге, когда рождается мысль? / К. В. Анохин. Популярная механика. 2012. № 11 (121). С. 66–67.
4. Геодакян, В. А. Эволюционные теории асимметрии организмов, мозга и тела / В. А. Геодакян // Успехи физиол. наук. 2005. Т. 36, № 1. С. 24–53.
5. Дубровский, Д. И. Проблема «другого сознания» / Д. И. Дубровский // Вопр. философии. 2008. № 1. С. 19–28.

Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, А. В. Климова

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМ МАРШРУТОМ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИИ

Результаты исследований частично поддержаны грантом РФФИ 13-07-00273-а

Рассматриваются вопросы разработки и использования онтологии для организации информационной поддержки принятия решений при управлении ОМ в рамках АМ.

Введение. В настоящее время наблюдается широкое распространение и использование онтологии как инструмента моделирования, анализа, хранения данных и знаний при управлении в различных сферах деятельности. Онтология используется для обработки слабоструктурированных данных, их систематизации и интерпретации, для организации семантического поиска и интеграции знаний в другие смежные предметные области, в качестве информационной поддержки принятия решений [1–3]. Наиболее популярными видами онтологии считаются: 1) онтология предметной области, которую можно рассматривать как словарь терминов, специфических для данной предметной области, вместе с совокупностью правил и отношений, которые обеспечивают интерпретацию и правильное использование терминов; 2) онтология задач, направленная на решение конкретной задачи в выбранной предметной области с ограниченным набором терминов, отношений и связей.

Разработка и реализация онтологических моделей осуществляется с помощью следующих редакторов: Ontolingua, Protégé, OntoEdit, OilEd и др. Авторами для разработки онтологии был выбран редактор Protégé 3.3.1, который является свободно распространяемым редактором, предназначенным для построения (создания, редактирования и просмотра) онтологий прикладной области.

В течение ряда лет авторами ведется разработка подхода к управлению образовательным маршрутом (ОМ) в рамках академической мобильности (АМ) студента. Разработка онтологической модели является одним из этапов создания системы поддержки принятия решений (СППР) при управлении ОМ в рамках АМ.

Вопросы, связанные с разработкой онтологических моделей, рассмотрены в работах Т. А. Гавриловой, В. Ф. Хорошевского, А. С. Клещева, А. Я. Глазун, В. В. Бойко, Е. В. Ефименко и др. [4–6].

В научной школе Уфимского государственного авиационного технического университета вопросами применения онтологии для оказания информационной поддержки принятия решений занимаются следующие исследователи: Н. И. Юсупова, Л. Р. Черняховская, О. Н. Сметанина [3; 7].

В рамках учебного процесса, в частности, при планировании образовательного маршрута, обрабатывается большое количество слабоструктурированной инфор-

мации, представленной в разных форматах и языках. Онтология помогает систематизировать эту информацию и понятия данной предметной области, выступает в качестве информационной поддержки эксперта и лица, принимающего решение, при планировании ОМ в рамках АМ. Например, чтобы дать рекомендации переводному студенту по изучению литературы для освоения недостающих компетенций, лицо, принимающее решение, использует правила логического вывода информации на основе разработанной онтологии.

Формально онтологию можно представить следующим образом:

$$O_{AM} = \langle Class_{AM}, Pr, Ind, Rel \rangle,$$

где $Class_{AM} = \{Class_{AM_1}, ..., Class_{AM_n}\}$ — множество классов онтологии, представляющих собой информацию о направлениях подготовки, дисциплинах, компетенциях и литературных источниках, содержащихся в рабочих образовательных программах, согласно ФГОС, а также о классах, содержащих описание моделей перевода студента в рамках АМ;

Pr — множество свойств классов онтологии (название, информация, характеристика);

Ind — множество экземпляров классов;

Rel — множество отношений онтологии.

Согласно рабочим программам по направлению подготовки ФГОС ВПО третьего поколения, были выделены основные концепты («Направления подготовки», «Дисциплины», «Библиотека», «Компетентностные модели», «Учебные планы», «ВУЗ», «Образовательная программа»), использованные при построении онтологии (рисунок).

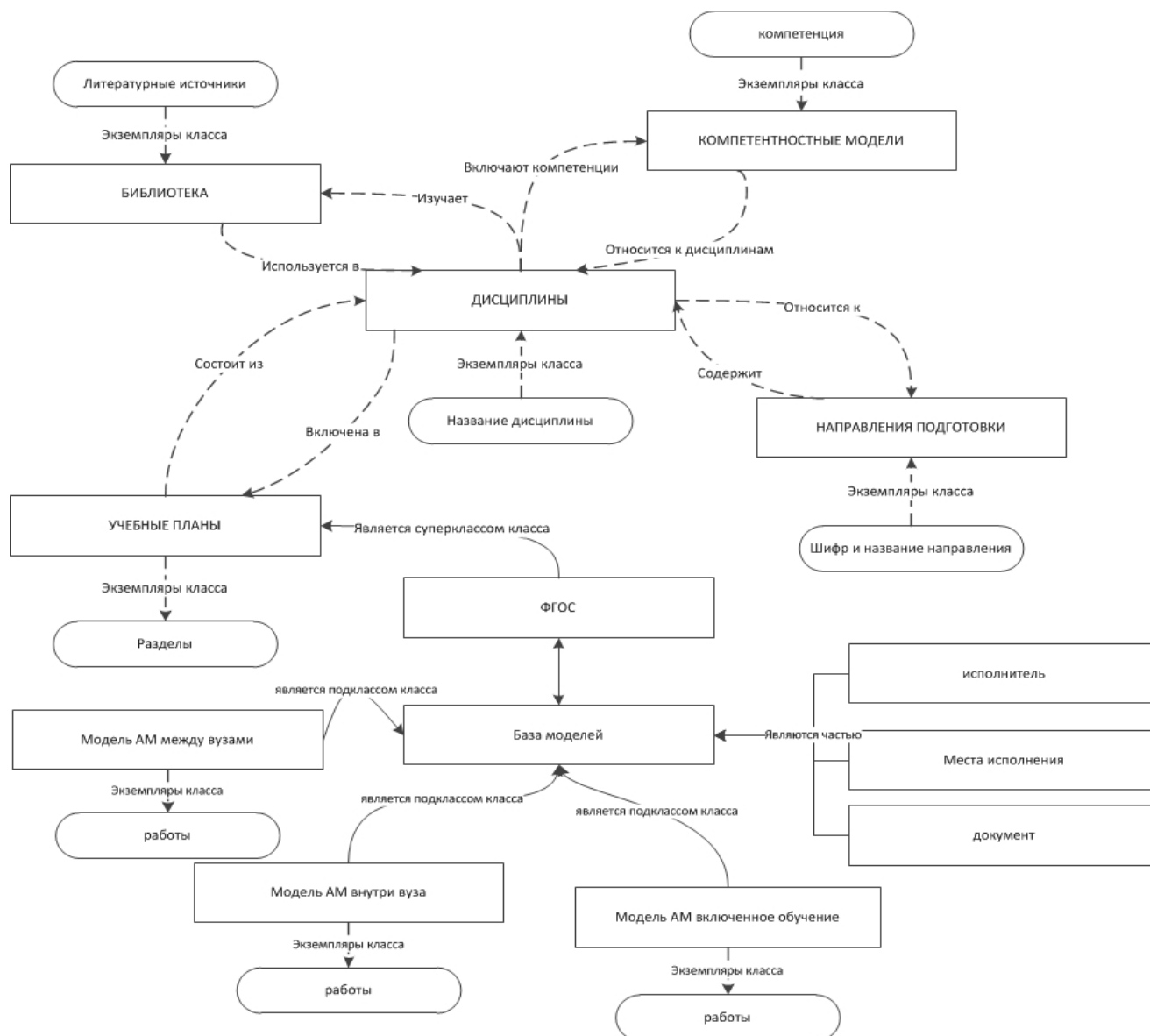
Содержащуюся в онтологии информацию можно представить в виде правил логического вывода. Имеются следующие множества:

1) $D_j = \{D_1, ..., D_j, ..., D_n\}$ — множество направлений подготовки;

2) $H_i^j = \{h_1^j, ..., h_n^j\}$ — множество дисциплин, относящихся к направлению D_j ;

3) $S_i^j = \{s_1^j, ..., s_m^j\}$ — множество наборов компетенций (компетентностных моделей), относящихся к направлению D_j ;

4) $s_i^j = \{comp_1^j, ..., comp_n^j\}$ — множество компетенций набора S_i^j , где $s_1^2 \cup s_2^2 \dots \cup s_m^2$ (компетенции в наборах могут повторяться, поскольку могут принадлежать нескольким дисциплинам сразу);



Фрагмент отношений между экземплярами понятий онтологии

5) $G_i^j = \{g_i^j, \dots, g_k^j\}$ — множество литературных источников, соответствующих направлению D_j ;

6) $Y^i = \{Y^1, Y^2, \dots, Y^m\}$ — множество наборов дисциплин для возможного перезачета.

Из множества направлений выбираются D_1 и D_2 — направления, между которыми осуществляется перевод студента. Исходя из положений:

1) $H_i^1 \in D_1, H_i^2 \in D_2$ — каждому направлению принадлежит свой набор изучаемых дисциплин;

2) $s_i^1 \in H_i^1, s_i^2 \in H_i^2$ — каждой дисциплине h_i^j из набора H_i^j соответствует свой набор компетенций s_i^j из компетентностной модели выпускника;

3) $G_i^1 \in H_i^1, G_i^2 \in H_i^2$ — каждой дисциплине h_i^j из набора H_i^j соответствует свой набор литературных источников для изучения данной дисциплины.

Чтобы дать рекомендации по неизученным компетенциям и дисциплинам используется следующее правило.

Если $h_i^j \in D_j$, то $g_i^j \in h_i^j$: если дисциплина принадлежит направлению, то этой дисциплине принадле-

жит набор литературных источников, которые необходимо изучить студенту.

Если при пересечении двух множеств $s_i^1 \cap s_i^2$ процент совпадения двух компетенций $proc(comp_i^1, comp_i^2) > 75\%$, то компетенции будут совпадать между собой $comp_i^1 = comp_i^2$. Если процент совпадения двух наборов компетенций $proc(s_i^1, s_i^2) > 75\%$ и $s_i^1 \cup s_i^2 \dots \cup s_m^2$, то будет получено несколько наборов дисциплин, отличающихся незначительно $Y^i = \{Y^1, Y^2, \dots, Y^m\}$.

Обеспечивается подбор такого набора дисциплин для возможного перезачета, который обеспечит рациональное значение

$$Y = \arg \text{opt } S_j(H_j), Y \in L, j = 1, \dots, L,$$

где Y — рациональный набор дисциплин, максимально возможных для перезачета. Задолженности студента в рамках АМ должны быть ликвидированы в установленный срок.

Заключение. Разработана онтологическая модель для СППР при управлении ОМ в рамках АМ, которая предназначена для оказания информационной

поддержки принятия решений при консультировании, переводе студента, планировании его индивидуального образовательного маршрута. Разработанная онтология служит инструментом принятия решений для эксперта и лица, принимающего решение, содержит в себе основные образовательные и нормативные документы, необходимые для планирования образовательного маршрута студента и его академической мобильности.

Библиографический список

1. Шалфеева, Е. А. Возможности использования онтологий при разработке и сопровождении программных систем / Е. А. Шалфеева. Владивосток : ИАПУ ДВО РАН, 2011, 21 с.
2. Привезенцев, А. И. Прикладная онтология задач для молекулярной спектроскопии / А. И. Привезенцев, А. З. Фазлиев // Знания – Онтологии – Теория : тр. Всерос. конф. Новосибирск : Омега Принт, 2007. Т. 2. С. 82–87.
3. Сметанина, О. Н. Онтологическая модель для обеспечения интеллектуальной поддержки управлен-

ческих решений при формировании образовательного маршрута с учетом академической мобильности. Методические аспекты искусственного интеллекта : монография / О. Н. Сметанина, М. М. Гаянова, А. В. Климова. М. : Машиностроение, 2014. С. 38–53.

4. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. СПб. : Питер, 2000. 384 с.

5. Клещев, А. С. Структура онтологий предметных областей и их математических моделей / А. С. Клещев, И. Л. Артемьева // Proceedings of the Asian Conference on Intellectual Systems. 2001. P. 410–420.

6. Гладун А. Я., Рогушина Ю. В. Онтологии в корпоративных системах. Часть I [Электронный ресурс] / А. Я. Гладун, Ю. В. Рогушина // Корпоратив. системы. 2006. № 1. URL: <http://www.management.com.ua/ims/ims115.html>.

7. Черняховская, Л. Р. Интеллектуальная поддержка принятия решений в организационном управлении разработкой программных проектов / Л. Р. Черняховская, А. И. Малахова // Вестн. УГАТУ. 2013. Т. 17, № 5(58). С. 195–199.

Н. М. Боргест

ПРОБЛЕМЫ В ИНФОРМАЦИОННОМ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОМ ОБЩЕСТВЕ: ОПЫТ ОДНОГО ПУТЕШЕСТВИЯ

Рассмотрены основные проблемы информационного общества, с которыми сталкиваются члены этого общества, осуществляя ту или иную деятельность. Систематизация проблем выполнена на основе анализа информационного взаимодействия при осуществлении кругосветного путешествия по 12 странам 17 городам на трех континентах.

Созданные, внедренные и разрабатываемые информационные системы и технологии продолжают активнейшим образом влиять на общественное развитие, решая многие насущные проблемы, с одной стороны, и порождая новые, с другой. Истоки и факторы, создающие эти проблемы, лежат в информатизации всего общества и дальнейшей его глобализации [1]. Причем акцент в значении глобализации на интеграцию и унификацию всех мировых процессов и культур. Описывая и оцифровывая все и вся, цивилизация получила невиданную ранее скорость передачи не только сообщений и фактов, но и знаний, и технологий. Отсюда и астрономический рост потребностей и технологий, их удовлетворяющих. Уже не является чем-то особенным в технологическом плане то, что ранее можно было представить лишь в романах фантастов. Представим краткие заметки относительно проблем, возникающих в информационном обществе, на основе опыта кругосветного путешествия, совершенного автором в конце 2014 — начале 2015 гг. Доступность такого путешествия на самолетах, летающих обычными регулярными рейсами, очередное подтверждение идущих в мире глобальных процессов. Маршрут совершенного автором кругосветного путешествия представлен на рисунке.

Декларируемые ныне принципы, определяющие кругосветный полет, сводятся к необходимости вылететь из любой точки мира в направлении на запад или на восток и к возвращению с противоположной стороны. При этом необходимо дважды пересечь экватор и посетить не менее трех континентов. Детали пройденного маршрута представлены в таблице.

Не фокусируясь на достижениях современных информационных систем и технологиях, которые позволяют уже практически в любой точке земного шара иметь возможность координировать свое положение и строить навигации, заказывать билеты на различные виды транспорта, гостиницы, совершать покупки, связываться друг с другом, в том числе в видео режиме, пересылать информационные сообщения разного формата, рассмотрим некоторые еще нерешенные проблемы в информационном обществе.

Детали кругосветного путешествия

Дата вылета	Город	Страна	Марка самолета
16 Dec 2014	Samara	Russia	—
17 Dec 2014	Moscow	Russia	Airbus A321
17 Dec 2014	Zurich	Switzerland	Airbus A330-300
18 Dec 2014	New York	USA	Airbus A320
18 Dec 2014	San Salvador	Salvador	Airbus A321
27 Dec 2014	San Jose	Costa Rica	Airbus A320
30 Dec 2014	Lima	Peru	Airbus A321
31 Dec 2014	Sao Paulo, Curutiba	Brazil	Airbus A320
02 Jan 2015	Curutiba, Sao Paulo	Brazil	Airbus A320
03 Jan 2015	Sao Paulo	Brazil	Airbus A321
03 Jan 2015	Lima	Peru	Embraer 190
03 Jan 2015	Cali	Colombia	Airbus A321
06 Jan 2015	Bogota	Colombia	Airbus A320
09 Jan 2015	Mexico City	Mexico	Airbus A320
12 Jan 2015	San Francisco	USA	Boeing 747-400
14 Jan 2015	Shanghai	China	Boeing 747-400
14 Jan 2015	Taipei	Taiwan	Airbus A330-200
15 Jan 2015	Hong Kong	China	Boeing 777-200ER
16 Jan 2015	Singapore	Singapore	Boeing 777-300ER
16 Jan 2015	Moscow, Samara	Russia	Airbus 319

Проблема онтологизации, типичная для многочисленных разнородных баз данных, все отчетливее проявляется в информационных сетях [2]. Эта проблема четкой идентификации сущностей более общая, нежели проблема идентификации личности конкретных субъектов или предметов.

Языковые проблемы в информационном обществе достались нам от наших предков и пока решаются изучением других языков, переводом и поиском единого языка. Сейчас на роль языка международного общения претендует английский, как в свое время латынь, французский, немецкий и испанский. Но говорить о доминировании английского языка пока не приходится. Есть регионы и страны, где знание этого языка не всегда востребовано и лишь язык жестов надежный помощник здесь. Бурно развивающийся Китай



Маршрут кругосветного путешествия, совершенного автором на самолетах, летающих регулярными рейсами

и высокотехнологичная Япония не отказываются от своих иероглифов и компьютерные приложения с такими интерфейсами — это терра инкогнито для всего остального мира. Международный софт в основном англоязычный и разработчики большинства иноязычных сайтов и программ стремятся иметь версии интерфейсов, выполненные на английском языке.

Проблемы избыточности информации («космический мусор» в смысле огромного масштаба избыточности, дублирования и прочее) и связанная с этим *проблема поиска и выбора необходимой информации*. Современные поисковики не обходятся без контекстной «смайт»-поддержки. Но вариативность запросов и предметность интересов настолько широки, что накопившийся «мусор» забивает все пути к поиску релевантной информации. Близкая к данной проблеме стоит проблема коммерциализации и связанная с этим навязываемая в сети информация, которая и без того затрудняет поиск. Хотя бывают и удачные совпадения, когда запрашиваемая в сети информация и ее производитель заинтересованы друг в друге.

На взгляд автора *проблема информационного неравенства* с развитием информационных технологий и систем со временем перестает быть насущной проблемой. Хотя, конечно, абсолютного равенства в доступе в информации достичь никогда не удастся, да и не следует. Так как другая проблема — это проблема «нецелевого» использования знаний. И здесь для людей, ориентированных на разрушение, а не созидание, простор для применения знаний в ущерб другим и даже всему человечеству. Информационные технологии — мощный инструмент в руках тех, кто ими пользуется и их разрабатывает. И от их доброй воли и здравого смысла зависит то, как этот инструмент будет использован. Ошибки, невнимательность,

непрофессионализм еще как-то можно парировать соответствующими средствами защиты, моделируя ситуацию. Парировать же злой умысел разработчиков и пользователей значительно труднее.

Отсюда и появление уже в нашей жизни таких понятий, как *информационные и кибервойны*. Причем первые уже активно применяются враждующими сторонами, а вторые постепенно сходят с экранов «блокбастеров» в форме автономных и управляемых роботов на поля локальных конфликтов, которые не прекращаются в различных регионах мира.

На *манипуляцию сознанием* заточены не только идущие информационные войны государств и корпораций, но и текущая работа средств массовой информации и технологии сетевых компаний. Отсюда появление и так называемых *киберболезней*, вызывающих неконтролируемую информационную потребность от новостных источников, телевидения, Интернета, а также уже известную ранее игровую зависимость от бесчисленного количества уже разработанных компьютерных игр.

Серьезной проблемой является совершенствующаяся вместе с полезными функциями информационных технологий *киберпреступность* в форме несанкционированного доступа к данным, несанкционированным транзакциям. С результатами последних автор столкнулся, вернувшись из путешествия. Нью-Йорк был единственный город, в отеле которого была предъявлена кредитная карта Ситибанка, и именно из США, спустя месяц, была сделана попытка несанкционированного списания средств с кредитной карты.

Другой вид киберпреступности — *информационный терроризм*, когда умышленно блокируется работа информационных систем.

Распространение непристойных или запрещенных материалов, мошенничество, авторские права являются *проблемами правового характера*. Решение проблем правового регулирования новых видов деятельности в условиях развития информационного общества является крайне важным для поддержания стабильности и порядка в обществе.

В заключении стоит отметить тот факт, что международное сообщество прикладных онтологов в лице ассоциации IAOA для решения проблем, подобных описанным в этой статье, инициировало дискуссию для своего очередного ежегодного саммита (Ontology Summit 2015) на тему «Интернет вещей: на пути к умным сетевым системам и сообществам» [3]. Онтологи надеются, что разработка хорошо продуманных и построенных сетевых сообществ

приведет к улучшению качества жизни, снижению угрозы от внешних источников, а также повышению производительности.

Библиографический список

1. Логинова, С. А. Проблемы современного информационного общества / С. А. Логинова // Изв. ВГПУ. 2014. № 1(262). С. 20–22.
2. Боргест, Н. М. Научный базис онтологии проектирования / Н. М. Боргест // Онтология проектирования : науч. журн. 2013. № 1(7). С. 7–25.
3. Ontology Summit 2015: Internet of Things: Toward Smart Networked Systems and Societies [Электронный ресурс]. URL: <http://ontolog-02.cim3.net/wiki/OntologySummit2015>.

Д. В. Вербов, Р. В. Лавринчук

АВТОМАТИЗАЦИЯ СТАТИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИНТЕГРАЦИИ

Рассматривается проблема анализа управления основными данными при интеграции. Приводятся требования к инструменту автоматизированного анализа. Рассматриваются существующие инструменты, предлагается разработка собственного средства специализированного анализа информационных систем.

При интеграции информационных систем (ИС) одним из важных аспектов является задача объединения основных данных или справочников и управление ими в процессе интеграции. Хотелось бы упомянуть, что есть некоторая терминологическая путаница. Мы рассматриваем под основными данными ядро неизменяемых данных ИС. Точнее «условно-постоянную часть всей корпоративной информации, не претерпевающей существенных изменений в процессе повседневной деятельности организации» [4]. В англоязычной терминологии в отношении основных данных принят термин «Master Data», а в русской нередко обращаются к хорошо известному термину нормативно-справочная информация (НСИ). К сожалению, в контексте вопроса управления основными данными термин НСИ может быть воспринят в крайне узком его значении. Поэтому далее во избежание путаницы мы будем оперировать термином «основные данные», иногда заменяя его на «Master Data».

Концентрация усилий на основных данных при проведении интеграции ИС важна, так как при решении задачи интеграции практически любых ИС вопрос объединения основных данных этих систем возникает одним из первых. Как минимум это объединение справочников, как максимум моделей той основной информации для работы, с которой предназначены интегрируемые ИС.

Различные исследователи по-разному подходят к вопросу работы с основными данными в зависимости от специфики прикладной области. Так, в [1] основной упор делается на работу с информацией о клиентах, что обуславливает дальнейшую детализацию на специфичных аспектах взаимодействия с этой информацией. В данной же статье акцент сделан на работу с основными данными в целом и в первую очередь на поиск и выделение основных данных из массива данных, обрабатываемых в ИС, и упором на последующий их анализ. Такой подход даст исследователю инструмент для поиска ответов на вопросы, возникающие при интеграции основных данных.

В настоящее время выделение схожих данных, их потребителей или проведение анализа различий по формату хранения и атрибутам выполняется, как правило, вручную с незначительной автоматизацией. Отсутствие предварительной оценки характеристик

справочников, таких как согласованность, чистота данных, отсутствие аномалий и не выявленных зависимостей не позволяет оценить последующую трудоемкость и затраты на проведение интеграции. Для автоматизации этой деятельности необходимо разработать инструмент, который дополнит существующую картину необходимыми данными для последующей оценки сложности проведения интеграции.

Рассмотрим основные подходы к анализу основных данных ИС. Можно выделить опосредованный и непосредственный анализ ИС. При опосредованном анализе проводится анализ не самой действующей ИС, а ее документации, ER-диаграмм, описаний таблиц и отдельных модулей, в нее входящих. Данный тип анализа проводится вручную и, как правило, практически не поддается автоматизации. Непосредственный анализ самой ИС можно в свою очередь разделить на две части. Это статический и динамический анализ. Статический анализ ИС направлен на количественные характеристики, такие как количество обрабатываемых данных, распределение их по таблицам и атрибутам, их частотные характеристики, декларативные связи, а также качество данных (дублирование, загрязнение, полнота метаинформации). Динамический анализ дополняет картину, уточняя детали, которые не могли быть получены ранее. Динамический анализ направлен на поиск потоков и потребителей данных, частоты изменений данных и взаимосвязи между ними.

Наша задача состоит в том, что бы разработать инструмент и методики его применения с целью автоматизации части работы аналитика при анализе основных данных ИС с точки зрения задачи их интеграции. Предлагаемый к разработке метод автоматизированного анализа основывается на том, что после проведения опосредованного анализа полученные данные используются далее в инструменте статического и динамического анализа.

Перед тем как перейти к дальнейшему описанию, рассмотрим существующие на рынке инструменты, решающие схожие с нашей задачи.

В первую очередь, это всевозможные средства управления и мониторинга систем управления базами данных (СУБД) и операционных систем для решения задач администрирования. К их числу можно отнести как открытые проекты Nagios, Zabbix, так

и коммерческие IBM Tivoli, HP OpenView, Oracle Enterprise Manager. Но все эти инструменты предназначены, в первую очередь, для задач управления, а уж во вторую для исследования и анализа. Все они, как правило, при сборе данных работают с простыми скалярными значениями (скорость работы диска, нагрузка на сеть, количество процессов БД) и слабо предназначены для анализа сложных объектов и зависимостей.

Второй большой группой идут различные средства анализа данных, встроенных в системы хранения и СУБД. К сожалению, эти инструменты направлены в основном на оптимизацию работы самой СУБД и потребляемой ею ресурсов. К примеру на оптимизацию потребления дискового пространства, вычислительных ресурсов и памяти. Наиболее развитые инструменты включают в себя элементы поддержки популярной концепции жизненного цикла информации, но решают, в сущности, простую задачу маркировки и отсека информации устаревшей, а также категоризации информации по допустимой скорости доступа, что позволяет переносить архивные данные на медленные ленточные хранилища автоматически.

Отдельно стоит упомянуть развивающееся относительно недавно направление «Data Activity Monitoring» (DAM) [2]. В качестве примера можно привести продукт DbProtect Application Security. Данный класс решений направлен на мониторинг информации в ИС с узкоспециализированной целью информационной безопасности.

Все выше перечисленные подходы в общем случае не годятся для полноценного решения поставленной ранее задачи. Исключением являются отдельные элементы DAM-систем, позволяющие динамически находить новые ИС. Этим они могут в ряде случаев верифицировать результаты, полученные на этапе опосредованного анализа.

Таким образом, инструмент для решения ранее сформулированной задачи анализа ИС должен поддерживать исследовательский, интерактивный характер работы, позволяя менять на ходу настройки, параметры и частично алгоритмы анализа данных. Инструментарий также должен быть рассчитан на работу со сложными наборами данных и операциями с ними, включать развитые средства анализа данных, а так же допускать их расширение (внешними инструментами статистического и частотно-лингвистического анализа). Для удобства работы аналитика должны быть реализованы средства визуализации данных и построения настраиваемых отчетов.

Для архитектуры прототипа, указанного выше инструментария, выбрано стандартное трехуровневое решение, состоящее из агента, центрального уровня и подсистемы визуализации (рис. 1).

Агент отвечает за опрос ИС, первичную предобработку данных и загрузку их в локальное хранилище ограниченного объема с последующей передачей данных в центральный репозиторий.

Центральный уровень включает в себя утилиты интерфейса настройки и ввода данных вручную, центральный репозиторий, хранящий всю накопленную информацию, и интерфейс интеграции с аналитическими подсистемами.

Особняком стоит подсистема визуализации, отвечающая за вывод графиков, генерацию отчетов и т. п. В качестве примера можно привести автоматически сгенерированный граф взаимосвязей между справочниками и приложениями, использующими их в реальной ИС (рис. 2).

Инструмент находится в стадии разработки. Компоненты системы выбраны из открытых решений. Так, основным языком разработки является Python, а одной из библиотек подсистемы визуализации «Graphviz».

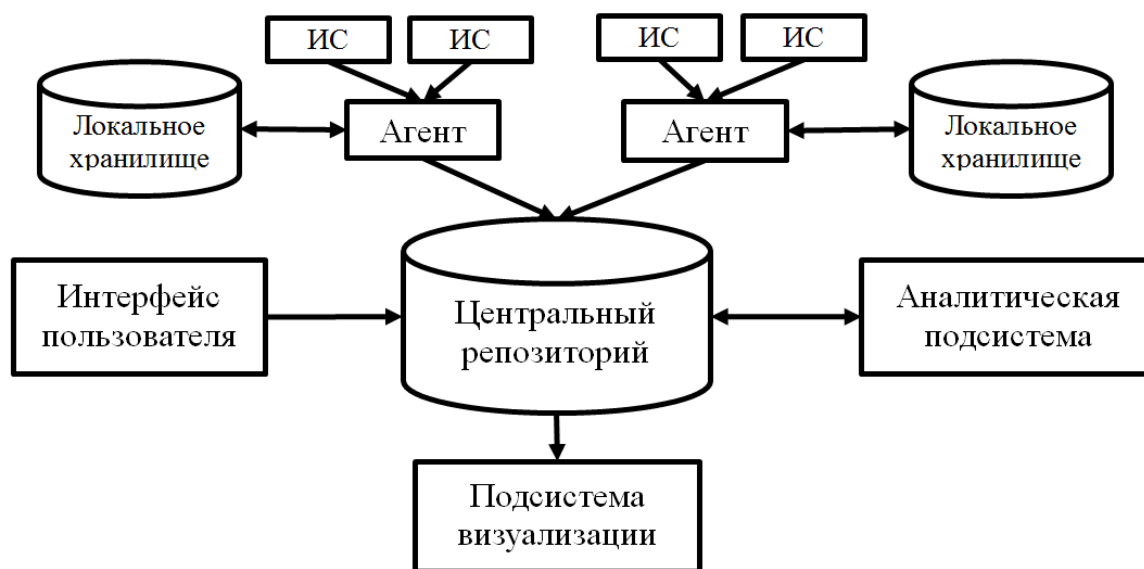


Рис. 1. Архитектура решения

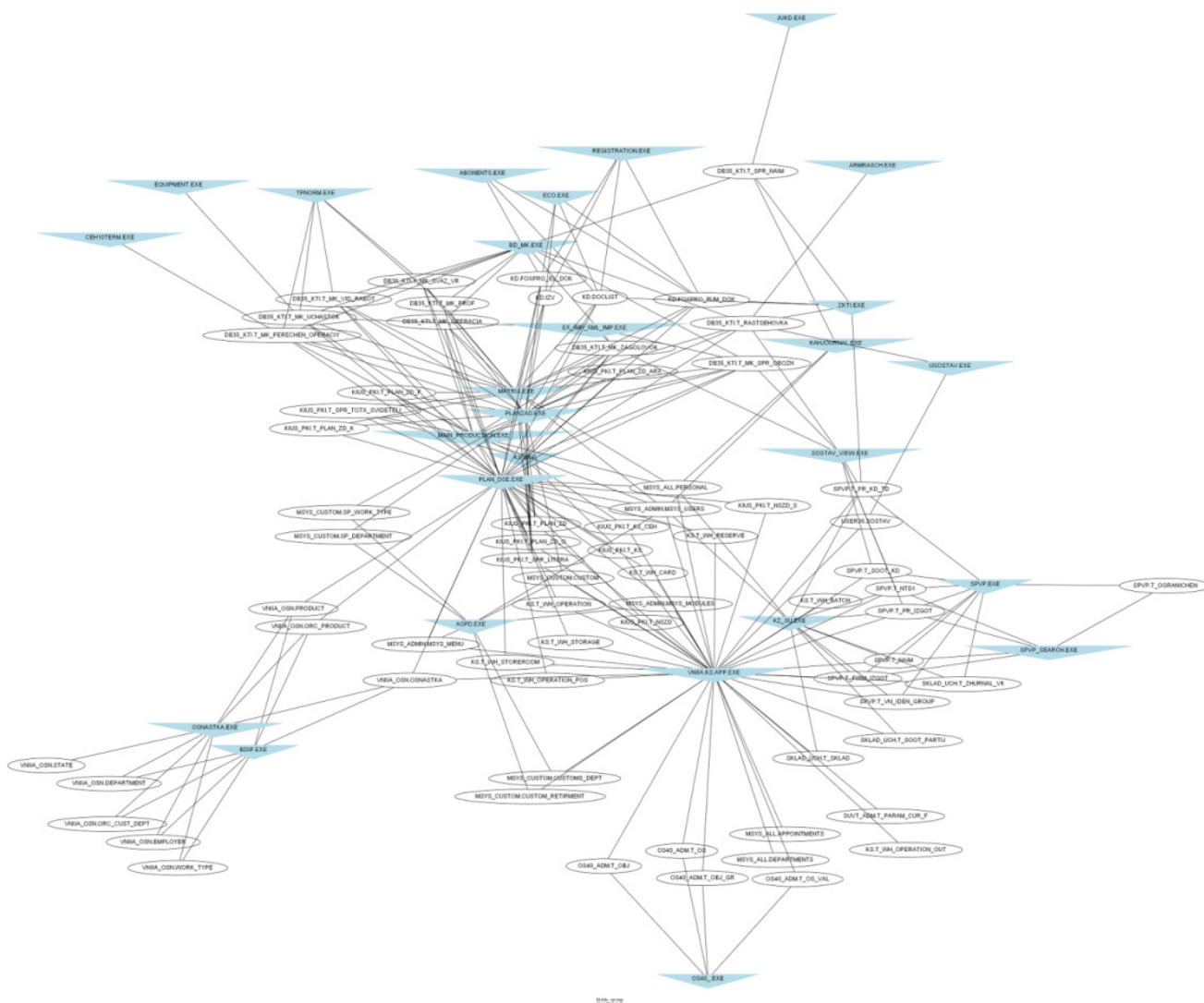


Рис. 2. Граф связей между справочниками и приложениями

Ранее в работе [3] были предложены критерии дублирования и прироста данных, характеризующие изменения в ИС до и после интеграции. Если скорость прироста данных можно было рассчитать, используя расширенные средства управления СУБД, применяющиеся в данных ИС, то для расчета критерия дублирования данных сторонних средств не достаточно. Анализ дублирования данных планируется реализовать на основе разрабатываемого решения.

Использование системы, не привязанной к функциям администрирования, позволит проводить анализ «что если» и моделировать изменения ИС.

Библиографический список

1. Berson, A. Master Data Management and Customer Data Integration for a Global Enterprise / A. Berson, L. Dubov. McGraw-Hill, 2007.
2. Mogull, R. Understanding and Selecting a Database Activity Monitoring Solution [Электронный ресурс] / R. Mogull. URL: <https://securosis.com/assets/library/reports/DAM-Whitepaper-final.pdf>.
3. Вербов, Д. В. Управление множественными базами данных едиными средствами / Д. В. Вербов // Информационные технологии и системы [Электронный ресурс] : тр. Третьей Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 26 февр. – 2 марта 2014 г. (ИТиС – 2014) : науч. электрон. изд. / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 94–96.
4. Помазков, Я. Системы НСИ: мировой опыт и тенденции развития [Электронный ресурс] / Я. Помазков // PC Week/RE. 2006. № 12 (522). URL: http://www.iteam.ru/publications/it/section_88/article_2739.

В. Е. Гвоздев, О. Я. Бежаева, Р. Р. Курунова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА «ДОМ КАЧЕСТВА» В АНАЛИЗЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Представлен вариант использования инструмента QFD и «Дома качества» при проектировании радиоэлектронной аппаратуры на промышленном предприятии. Рассмотрена эффективность радиоэлектронных изделий как трехзвенная структура: эффективность с точки зрения потребителей, эффективность с точки зрения производителя и пограничная эффективность — потребность преобразования потребительской эффективности в производственную.

Высокая конкуренция на рынке радиоэлектронной аппаратуры дает предпосылки применения инструментов информационной поддержки принятия решений на ранних этапах планирования производства. К таким инструментам можно отнести QFD — Quality Function Deployment, или структурирование функции качества. QFD представляет собой систематическую процедуру, позволяющую выполнить поэтапные преобразования требований потребителей в характеристики процесса производства изделия [1]. Преобразования требований в характеристики процесса производства изделия проводятся путем построения некоторого конечного числа домов качества. Общий вид дома качества представлен на рис. 1.

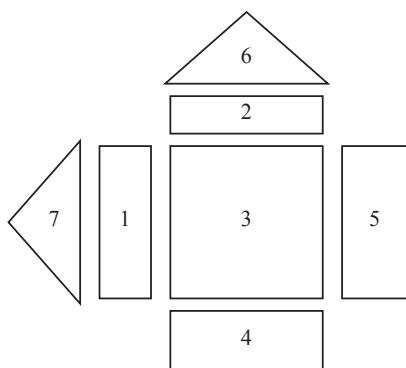


Рис. 1. Общий вид дома качества:

1 — требования потребителей; 2 — технические характеристики изделия; 3 — матрица взаимосвязи требований потребителей и технических характеристик; 4 — спецификации на исследуемое изделие и изделия-конкуренты; 5 — рейтинг важности для потребителя каждого требования и их весомость; 6 — матрица корреляции технических характеристик; 7 — матрица корреляции требований потребителей

Данный инструмент позволяет повышать качество выпускаемых изделий, проводя параллели с изделиями, выполняющими аналогичные функции. В данной статье авторы попытались расширить возможности «Дома качества», введя дополнительную трехзвенную структуру эффективности (рис. 2).

Артур-Вильям Шеер в своих работах опирается на понятия эффективности бизнес-процессов. При разработке и производстве нового радиоэлектронного изделия создается новый бизнес-процесс и необходим анализ, насколько он является эффективным. В дополнение к внешней и внутренней эффективности введем

понятие пограничной эффективности на базе «Дома качества». Внешней эффективностью, или потребительской эффективностью, в данном случае в «Доме качества» является вся область требований потребителей. Тогда область рейтинга важности для потребителей в «Доме качества» будет показывать соотношение характеристик, которые должны присутствовать, к идеальному изделию на базе требований потребителя. Внутренней эффективностью, или производственной эффективностью, в «Доме качества» будет являться вся область технических характеристик изделия. Тогда область спецификаций на исследуемое изделие и изделия-конкуренты будет отображать соотношение характеристик к идеальному изделию. Третьим звеном трехзвенной структуры эффективности будет пограничная эффективность — матрица взаимосвязи требований потребителей и технических характеристик (рис. 3). Пограничная эффективность показывает, как взаимодействуют внешняя и внутренняя эффективности.

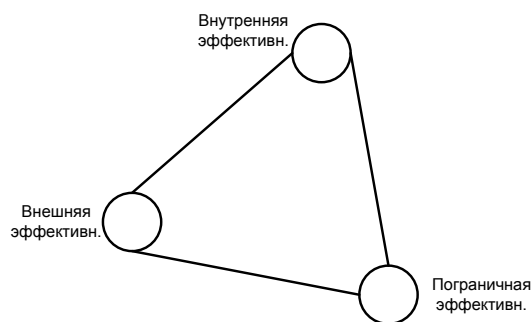


Рис. 2. Трехзвенная структура эффективности



Рис. 3. Пограничная эффективность по отношению к внешней и внутренней эффективности

Данное нововведение позволит получить некоторое идеальное изделие, которое будет являться эталоном в отношении к разрабатываемому. В стандарте «Дома качества» соотношение происходит только между подобными изделиями, которые выбираются экспертно. У каждого изделия есть свои достоинства и недостатки. Введение понятия эталонного изделия позволит отбросить недостатки изделий и объединить все достоинства (лучшие характеристики изделий, по мнению экспертов) в единое целое. Таким образом, можно будет спозиционировать разрабатываемое радиоэлектронное

изделие по отношению к эталонному изделию, что позволит на ранних этапах проектирования внести необходимые изменения в разрабатываемое изделие.

Библиографический список

1. Bahill, A. T. A Tutorial on Quality Function Deployment / A. T. Bahill, W. L. Chapman // Engineering Management J. 1993. Vol. 5, № 3. P. 24–35.
2. Information support of user's requirements specification construction control // Vestnik UGATU. 2014. Vol. 18, № 5. P. 57–61.

Е. А. Горбатова, М. В. Зарецкий

ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Предложена онтология, позволяющая сочетать детерминированный и нечеткологический подходы к разработке систем поддержки принятия решений при организации глубокой переработки отходов горно-обогатительного и металлургического производства в кооперации нескольких предприятий региона.

Постановка проблемы. Отходы металлургического и горно-обогатительного производства в значительной мере ухудшают экономическую и экологическую обстановку в местах расположения данных производств. В частности, занятые отходами площади изымаются из хозяйственного оборота, содержащиеся в отходах загрязнители переносятся ветром, попадают на водоносные горизонты и т. д. В то же время отходы могут быть вовлечены в производство путем извлечения ценных компонентов или же путем утилизации — использования без извлечения ценных компонентов [1; 2]. Отметим, что процесс извлечения из отходов ценных компонентов также приводит к образованию отходов.

Дальнейший анализ проблемы показал, что ее решение в рамках отдельного предприятия не всегда является наилучшим. Во многих случаях более рациональным решением проблемы вовлечения отходов в производство является их переработка не на том предприятии, где они образовались. Такое решение требует кооперации предприятий региона, создания общей для них системы поддержки принятия решений (СППР).

Целью работы является определение основных характеристик СППР выбора технологии глубокой переработки отходов горно-обогатительного и металлургического производства с учетом кооперации предприятий региона.

Создаваемая поддержка принятия решений должна вырабатывать следующие рекомендации:

- для каждого вида отходов определяется целесообразность извлечения ценных компонентов;
- если извлечение ценных компонентов из отходов целесообразно, то определяется предприятие региона, на котором извлечение ценных компонентов будет осуществлено;
- при нецелесообразности извлечения ценных компонентов ни на одном из предприятий региона должно быть определено предприятие, на котором отходы будут подготовлены к утилизации;
- если принято решение о передаче отходов на другое предприятие, должен быть определен наиболее рациональный способ их перемещения.

Сразу же отметим, что выбор наиболее приемлемого варианта, на наш взгляд, может быть осуществлен только на основе многокритериальности [3; 4] в нечеткологической парадигме.

В [1] была предложена онтология для СППР, предназначенной для выбора способа вовлечения отходов в промышленное производство в рамках одного предприятия. При рассмотрении возможности передачи отходов с одного предприятия региона на другое онтология, на которой основана СППР, была пересмотрена. Основой для разработки пересмотренной онтологии является подход, рассмотренный в [5].

Создаем онтологию $\text{Onto} = \langle C, Pr, V, I, R, A, D \rangle$.

Здесь: C — множество классов; R — множество отношений вида «быть экземпляром» и т.п.; Pr — свойства классов; V — значения свойств; I — множество экземпляров класса; A — множество аксиом; D — множество алгоритмов вывода.

Рассмотрим компоненты онтологии подробно. В данном случае рассматриваются классы:

- C1: Предприятие;
- C2: Хранилище_отходов;
- C3: Маршрут_транспортировки_отходов;
- C4: Некондиционное_сырье (отходы);
- C5: Технологический_процесс_дофлотации;
- C6: Технологический_процесс_выщелачивания;
- C7: Технологический_процесс_подготовки_к_утилизации;
- C8: Технологический_процесс_транспортировки;
- C9: Оборудование_для_дофлотации;
- C10: Оборудование_для_выщелачивания;
- C11: Оборудование_для_утилизации.
- C12: Средства_транспортировки.

Множество отношений в настоящее время содержит следующие элементы:

- is an instance of...;
- is a part of...;
- is consequent...;
- is connected to...;
- is a cause of...;
- has similarity with...

Будем рассматривать только свойства тех классов, которые не были описаны в [1].

Множество свойств для класса C1:

- Code_Enterprise — код предприятия;
- Location_Enterprise — расположение предприятия (список реквизитов);
- Transportation_Route_Enterprise — маршруты транспортировки (список);

- Waste_Storage_Enterprise — хранилища отходов (список);
- Raw_Materials_Enterprise — сырье (список);
- Production_Enterprise — продукция (список);
- Tech_Proc_Enterprise — технологические процессы (список);

– Waste_Enterprise — отходы (список).

Множество свойств для класса C2:

- Code_Waste_Storage — код хранилища отходов;
- Code_Waste_Storage_Enterprise — код предприятия;
- Location_Waste_Storage — расположение хранилища;

- Volume_Waste_Storage — объем хранилища;
- Waste_Storage_Waste — хранимые отходы (список).

Множество свойств для класса C3:

- Code_Route — код маршрута;
- Enterprise_Route — предприятия, соединяемые маршрутом (список);
- Type_Route — тип маршрута (железнодорожный, автомобильный);
- Capacity_Route — провозная способность маршрута;
- Restrict_Mas_Route — ограничения по максимальной перевозимой массе.

Множество свойств для класса C8:

- Code_Transp_Proc — код процесса транспортировки;
- Route_Transp_Proc — маршрут (список);
- Sender_Transp_Proc — отправитель;
- Addressee_Transp_Proc — получатель;
- Waste_Transp_Proc — транспортируемые отходы;
- Restrict_Transp_Proc — ограничения (список);

Множество свойств для класса C12:

- Code_Vehicle — код транспортного средства;
- Type_Vehicle — вид транспортного средства;
- Vol_Vehicle — максимальный объем перевозимого груза;
- Mas_Vehicle — максимальная масса перевозимого груза;
- Restrict_Vehicle — ограничения по перевозимому грузу (список).

Свойства остальных классов описаны в [1]. Разница состоит только в том, что при рассмотрении совокупности предприятий, множества значений свойств становятся списочными структурами, в которых каждый подсписок соответствует одному предприятию.

Для многих характеристик классов в качестве значений могут быть получены не точные значения, а приближенные оценки. Например, чаще всего хранилища предприятий смесь различных отходов. Хранимые отходы могут вступать в химические реакции, приводящие к образованию сложных для переработки соединений.

В СППР сведения о технологических процессах формализованы в виде нечеткологических баз знаний [6].

Рассмотрим алгоритмы вывода и правила принятия решений. Также, как и в [1], они могут быть разделены на два класса — предназначенные для детерминированных ситуаций и ситуаций, содержащих неустранимую неопределенность.

Например, в случае, когда содержание в отходах ни одного из полезных компонентов не достигает некоторой минимальной величины, единственным возможным вариантом вовлечения в промышленное производство является утилизация. В большинстве случаев решения приходится принимать в условиях неопределенности.

В представленной формулировке формулировка критерия оптимальности является затруднительной. Принимаемое решение должно быть компромиссом, учитывающим экологические, экономические и иные аспекты совокупности проблем, связанных с вовлечением в промышленное производство отходов.

В данной ситуации, на наш взгляд, наиболее удачной является модель многокритериального выбора [4; 7]. Наибольшую сложность при ее реализации представляет получение достоверной оценки относительной предпочтительности различных вариантов.

Выводы. Предложен онтологический подход к разработке СППР, позволяющий учесть ситуацию неустранимой неопределенности при совместной работе предприятий региона по вовлечению в промышленное производство отходов горно-обогатительного и металлургического производства.

Библиографический список

1. Горбатова, Е. А. Онтологический подход к разработке гибридных экспертных систем в гидрометаллургии / Е. А. Горбатова, М. В. Зарецкий // Информационные технологии и системы [Электронный ресурс] : тр. Третьей Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 26 февр. — 2 марта 2014 г. (ИТиС – 2014) : науч. электрон. изд. / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 70–71.
2. Горбатова, Е. А. Гибридная экспертная система в гидрометаллургии / Е. А. Горбатова, М. В. Зарецкий, И. З. Шияхметова // Информационные технологии и системы : тр. Второй Междунар. конф. : науч. электрон. изд. / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. С. 157 – 159.
3. Горбатова, Е. А. Нечеткологическое определение способа вовлечения в производство некондиционного сырья в гидрометаллургии / Е. А. Горбатова, М. В. Зарецкий, И. З. Шияхметова // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХП». Серія: Інформатика та моделювання. 2013. № 19 (992). С. 10–15.
4. Саати, Томас Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети : пер. с англ. / Томас Л. Саати ; науч. ред. А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. изд. 4-е. М. : ЛЕЛАНД, 2015. 360 с.

5. Черняховская, Л. Р. Онтологический подход к разработке правил принятия решений в проектном менеджменте / Л. Р. Черняховская, А. И. Малахова // Информационные технологии и системы : тр. Второй Междунар. конф. : науч. электрон. изд. / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. С. 111–114.

6. Субботін, С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень / С. О. Субботін. Запоріжжя : ЗНТУ, 2008. 341 с.

7. Штовба, Д. С. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / Д. С. Штовба. М. : Горячая линия — Телеком, 2007. 288 с.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Представлен обзор задач в области мониторинга высокопроизводительных вычислительных ресурсов. Сформулированы требования к системе мониторинга, которая помогла бы оценить эффективности работы приложений на кластере. Рассмотрены основные разработки и сделан анализ их достоинств и недостатков.

Введение. Основной задачей высокопроизводительного комплекса является обеспечение высокоэффективного счета вычислительных задач. Исходя из гетерогенности вычислительного комплекса, нецелесообразности глубокого вовлечения пользовательского персонала во внутреннее устройство и эффективного управления им, становятся актуальными задачи наблюдения и автоматического управления вычислительными ресурсами, такие как:

- систематический сбор информации об основных аппаратных характеристиках, прохождении выполнения каждой из расчетных задач, выполняемых на вычислительном комплексе, с целью выявления моделей поведения задачи;
- анализ собранной информации о работе задач и утилизации ресурсов ими; составление шаблона поведения задач в зависимости от типа решателя или расчетной модели;
- автоматический контроль выделения ресурсов под расчетные задачи на основе анализа информации о ходе выполнения подобных задач, с целью оптимизации утилизации системы.

Для решения подобных задач используются специальные системы мониторинга. На текущий момент существует множество решений как коммерческих, так и открытых. В основном, системы рассматривают задачу получения информации об общей утилизации системы путем снятия данных о загрузке аппаратной части вычислительного комплекса.

Существующие решения. Основными решениями по мониторингу кластеров на данный момент являются такие системы, как OVIS (Sandia National Laboratories), Ganglia, Zabbix, Nagios. Также существует большое количество менее распространенных систем, которые тоже рассматриваются в данной работе.

Перечисленные системы исследовались с целью выявления систем или подходов, которые смогли бы решить сформированные задачи мониторинга высокопроизводительных систем ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики».

OVIS (Sandia National Laboratories) — модульная система, предназначенная для сбора информации с высокопроизводительных компьютеров. В основе сбора информации лежит малозумный распределенный сервис LDMS (Lightweight Distributed Metric Service), который может работать как в агентном, так и в безагентном режиме. Помимо этого, LDMS

предоставляет широкий спектр по возможностям хранения данных.

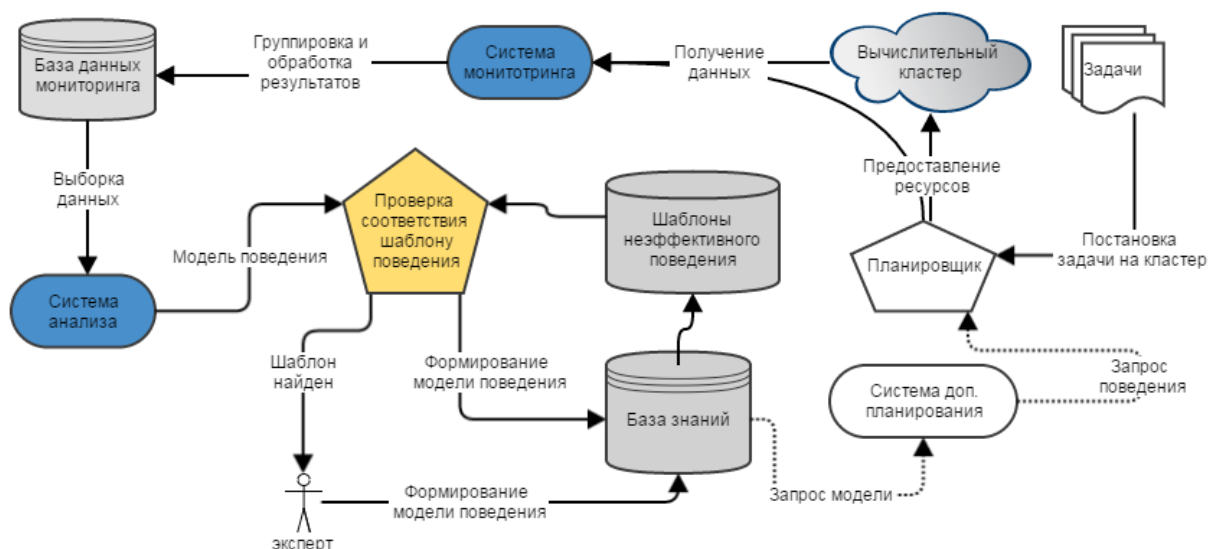
Ganglia — это система мониторинга с открытым исходным кодом, спроектированная для работы с тысячами узлов, изначально разрабатывавшаяся в университете Berkeley. На каждой машине запускается демон, который собирает системную информацию (скорость процессора, использование памяти и т. д.) и посылает ее на определенную машину. Машина, получающая информацию, может отображать ее, а также передавать некоторую обобщенную форму данных вверх по иерархии. Именно благодаря этой иерархической схеме Ganglia так хорошо масштабируется. Накладные расходы, связанные с работой агента, очень малы, поэтому этот код можно запускать на всех машинах кластера без ущерба для производительности.

Zabbix — это распределенная свободная система мониторинга. Zabbix способен следить за сотнями тысяч устройств, приложений и сервисов, собирать сотни гигабайт исторической информации в день и производить миллионы проверок доступности и производительности в минуту. Основными отличиями Zabbix от других систем мониторинга являются широкая функциональность, открытость, масштабируемая архитектура, способность собирать и анализировать огромный поток информации в режиме реального времени.

Nagios — это приложение, предназначенное для выполнения мониторинга систем и сетей. Оно следит за назначенными приложениями и службами, генерирует оповещения в зависимости от поведения наблюдаемых служб. До какого-то времени проект был известен как NetSaint. В настоящий момент, хотя сайт NetSaint работает, дальнейшая разработка проекта продолжается под именем Nagios.

Анализ. По сформированным критериям для системы мониторинга была создана сравнительная таблица, где цветами отмечена степень реализации функционала.

При анализе данной таблицы необходимо учитывать, что для свободно программного обеспечения всегда есть возможность реализовать тот или иной функционал путем добавления плагинов или изменения исходного кода. Однако данный вариант не всегда оправдывает себя, так как появляется необходимость разбираться во всем исходном коде приложения, чтобы не задеть взаимосвязанные части системы.



Общая схема работы MONIKA

Сравнительная таблица

Параметр \ Система	OVIS	Nagios	Ganglia	Zabbix
Мониторинг основных аппаратных значений				
Мониторинг периферийных аппаратных значений				
Трассировка задач				
Интегрирование механизма анализа				
Открытость системы				
Наличие механизма анализа данных				

Одним из решений сложившейся ситуации является создание собственного инструмента, который позволит бы на основе данных мониторинга о выполнении задачи на кластере сделать вывод об эффективности работы приложения и возможности его улучшения. Подобный инструмент разрабатывается в Институте автоматизации им. Духова и получил название MONIKA — Monitoring for keen analysis.

Структура системы. При проектировании схемы основным требованием являлась тесная интеграция системы со всеми основными средствами предоставления информации для более точного составления модели производимого расчета. Общая схема работы MONIKA представлена на рисунке.

Из схемы видно, что разрабатываемая система состоит из двух основных модулей: анализа и мониторинга.

Модуль мониторинга отвечает за многоуровневый сбор данных о расчетной задаче. Вся информация по предоставленному расчету делится на два основных уровня: поведение и метаданные.

Метаданные представляют собой общую информацию о модели и необходимые для классификации задачи.

Информация о поведении задачи на вычислительных ресурсах получается за счет агента мониторинга, который устанавливается на каждый вычислительный узел системы.

Таким образом, модуль мониторинга хранит в себе всю информацию по проведенным расчетам на вычислительных ресурсах системы. Разработанный модуль анализа данных позволяет оптимизировать использование ресурсов на основе данных мониторинга.

Выводы. Была разработана уникальная система, которая за счет своей архитектуры ориентируется именно на вычислительные задачи, а не на общее состояние аппаратных ресурсов, что позволило в результате тестовой эксплуатации выявить некоторые ошибки в разрабатываемых приложениях. Также была повышена утилизация ресурсов за счет изменения политик планировщика путем уменьшения приоритета низкоэффективных типов решателей.

В дальнейшем планируется исследование различных алгоритмов на поиск шаблонов в ходе работы приложения и дополнение системы мониторинга информацией об использовании инфраструктуры вычислительных комплексов (таких как температура и энергопотребление) для исследования влияния расчетных задач на эффективность потребления электричества.

Библиографический список

1. Иванов, К. В. Система мониторинга точек предельной нагрузки в кластерных вычислениях / К. В. Иванов // Научный сервис в сети Интернет: многообразие суперкомпьютерных миров : тр. Междунар. суперкомпьютер. конф. (22–27 сент. 2014 г., г. Новороссийск). М. : Изд-во МГУ, 2014. 477–480 с.
2. Иванов, К. В. Система мониторинга точек предельной нагрузки в кластерных вычислениях / К. В. Иванов // Вестн. УГАТУ. 2014. Т. 18, № 3(64). 283–289 с.

3. Иванов, К. В. Система мониторинга с прогнозированием ошибок / К. В. Иванов // Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ — 2013) : тр. Междунар. науч. конф. (1–5 апреля 2013 г., г. Челябинск). Челябинск : Издат. центр ЮУрГУ, 2013. С. 592.
4. Ivanov, K. V. Management of HPC clusters: development and maintenance / K. V. Ivanov, A. B. Novikov, S. A. Petunin // Proceedings of 15th International Workshop on Computer Science and Information Technologies. Bratislava, 2013. P. 43–46.
5. Петунин, С. А. Суперкомпьютинг на предприятии. Выбор и решения [Электронный ресурс] / А. Б. Новиков, К. В. Иванов // Первый национальный суперкомпьютерный форум (НСКФ-2012), г. Переславль-Залесский, 2012. URL: <http://2012.nscf.ru/Tesis/Petunin.pdf>.
6. Петунин, С. А. Проблемы и решения автоматизации суперкомпьютинга / С. А. Петунин, А. Б. Новиков, К. В. Иванов // Информационные технологии и системы : тр. Второй Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 27 февр. — 3 марта 2013 г. (ИТиС — 2013) : науч. электр. изд. / отв. ред. А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. С. 19–21

А. А. Кияева

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАСИТЕЛЯ ПУЛЬСАЦИЙ ДАВЛЕНИЙ

Разработан комплекс программ выбора оптимальных параметров гасителя пульсаций давлений, обеспечивающих наименьший шум установки.

Перечень вопросов рассмотренных в работе:

- аналитический обзор методов оптимизации параметров гасителя пульсаций давления (ГПД);
- разработка математической модели ГПД;
- постановка задачи оптимального выбора параметров ГПД (сведение задачи условного глобального оптимума к задаче безусловного глобального оптимума);
- разработка методов поиска глобальных оптимумов;
- разработка структуры комплекса программ;
- вычисления эксперимента.

Целью работы является разработка комплекса программ выбора оптимальных параметров ГПД, обеспечивающих наименьший шум установки.

В настоящее время математическое моделирование физических процессов в технических устройствах при помощи компьютеров и программного обеспечения находит все более широкое применение при решении самых различных задач.

Регуляторы давления — одна из наиболее востребованных разновидностей запорно-регулирующей аппаратуры, входящая в состав блоков подготовки воздуха.

Регуляторы применяются в различных областях:

- авиационной и космической техники;
- газораспределительных станциях;
- системах паро- и теплоснабжения;
- медицине (например, анестезиология).

Для снижения шума регулятора давления применяют специальные глушители шума, которые представляют собой совокупность дроссельных шайб (рис. 1). Очевидно, что установка таких устройств может привести к нарушению нормальной работы. Поэтому представляет интерес моделирование динамических процессов в регуляторе.

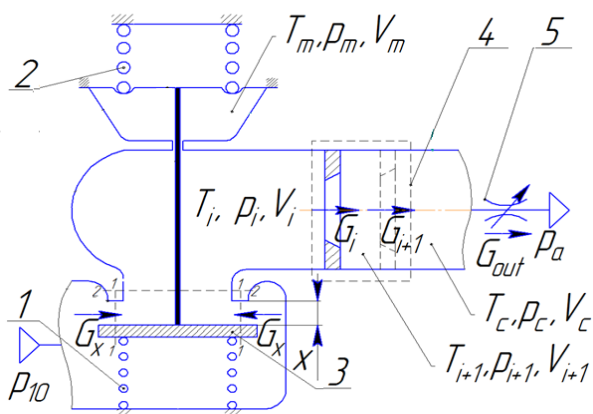


Рис. 1. Гаситель пульсаций: 1, 2 — пружины; 3 — тарель; 4 — пакет дроссельных элементов; 5 — дроссель расхода газа

Полная акустическая мощность, генерируемая гасителем пульсаций давления, равна сумме мощностей клапана и мощностей каждой шайбы ГПД:

$$W = W_1 + \sum_{i=2}^N W_i.$$

В общем случае задача выбора рациональных параметров ГПД представляется смешанной задачей параметрической и структурной оптимизации.

Задача структурной оптимизации сводится к определению количества шайб, необходимых для обеспечения требуемого уровня акустической мощности ГПД, и реализуется простым перебором различных вариантов компоновок ГПД по числу шайб. Возможны и более тонкие исследования, предполагающие использование шайб разного типа.

Задачу параметрической оптимизации можно поставить как задачу условной оптимизации:

$$W(x_1, x_2, \dots, x_N) \rightarrow \min_{x_1, \dots, x_N},$$

$$\begin{cases} x_i \in [0; 1], & i = 1, \dots, N, \\ x_1 > x_2, \\ \dots \\ x_{N-1} > x_N. \end{cases}$$

Однако с помощью замены переменных задачу условной оптимизации можно свести к задаче безусловной оптимизации на стандартном (для многих методов глобальной оптимизации) допустимом множестве:

$$D_0 = \bigotimes_{i=1}^n [0, 1].$$

Введем новые переменные таким образом, что

$$\begin{cases} y_i \in [0; 1], & i = 1, \dots, N, \\ x_1 = y_1, \\ x_2 = y_1 \cdot y_2, \\ \dots \\ x_N = y_1 \cdot y_2 \cdot \dots \cdot y_N. \end{cases}$$

А также обратное преобразование

$$\begin{cases} y_1 = x_1, \\ y_2 = x_2 / x_1, \\ \dots \\ y_N = x_N / x_2 \cdot \dots \cdot x_{N-1}. \end{cases}$$

В этом случае задачу глобальной оптимизации можно поставить как задачу безусловной оптимизации на единичном гиперкубе:

$$D_0 = \bigotimes_{i=1}^n [0, 1], \quad W(y_1, y_2, \dots, y_N) \rightarrow \min_{y \in D_0}.$$

В процессе поиска рациональных параметров ГПД использовалась смешенная стратегия оптимизации, в которой сочетались этапы глобальной оптимизации и методы локального поиска минимума функции. Данный подход позволил уверенно найти оптимальные сочетания оптимизируемых переменных и, соответственно, проходные сечения шайб.

Математическая модель:

$$p_{ам} \cdot S + F_{пр1} - F_{пр2} - p_{вх} \cdot S_{клапана} - p_{вых} \cdot (S_m - S_{седл}) - D \cdot V_{кл} - x \cdot (C_1 - C_2) = M \cdot \frac{d^2 x}{dt^2}.$$

Уравнение неразрывности для докритического режима течения:

$$G_x = \mu \pi d \quad x p \sqrt{\frac{2}{RT_1} \cdot \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p}{p} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]},$$

$$\frac{p_{вых}}{p_{вх}} \leq \beta_{кр}$$

Уравнение неразрывности для закритического режима течения:

$$G_x = \mu \pi d_{седл} x p_{вх} \sqrt{\frac{k}{RT_1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}}, \quad \frac{p_{вых}}{p_{вх}} \leq \beta_{кр}.$$

Уравнение для емкости:

$$(G_x - G_{вв}) \cdot \frac{nRT}{V} \cdot 10^5 = p.$$

G_x — расход, который получается после решения одного из уравнений неразрывности.

$G_{вв}$ — расход возмущающего воздействия, первоначальный расход, который попадает в клапан.

В ходе работы было разработано приложение в среде разработки MATLAB.

На рис. 2 представлен трехмерный график акустической мощности, на рис. 3 — график массового расхода газа.

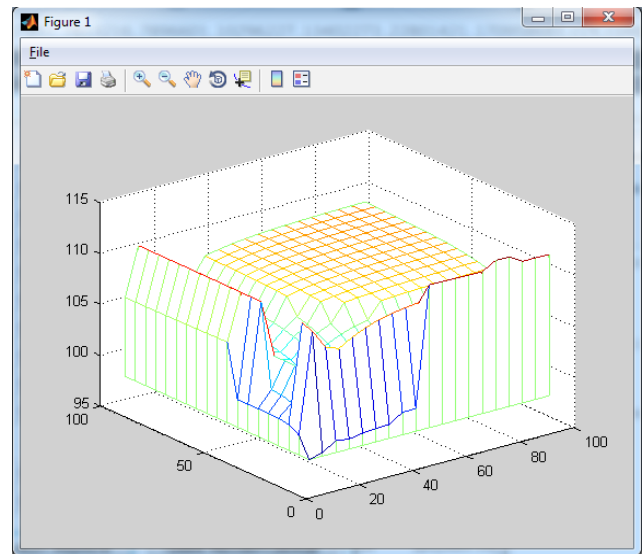


Рис. 2. Акустическая мощность

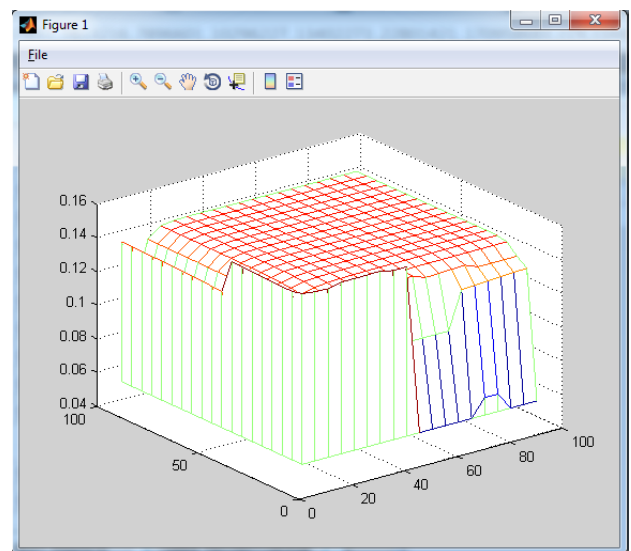


Рис. 3. Массовый расход

М. Ю. Косенко, А. В. Мельников

КООПЕРАЦИЯ АГЕНТОВ МНОГОАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ БОТНЕТОВ

Рассматривается вопрос кооперации агентов в многоагентной системе идентификации ботнетов. В рамках объектно-ориентированного анализа многоагентной системы производится функциональное описание ролей системы, а также определяется язык составления общих планов и взаимодействий между агентами.

Введение. С момента появления ботнетов задача их идентификации является одной из наиболее актуальных. Ботнеты наносят огромный вред субъектам межсетевых взаимодействий. В [1] предложен метод обнаружения ботнетов на основе многоагентного подхода. В основе архитектуры многоагентной системы лежит архитектура InterRRaP, состоящая в разделении агента на три уровня, в соответствии с идеей смешанной архитектуры, то есть реактивность и способность к планированию. Основной формой организации взаимодействия между агентами, характеризующейся объединением их усилий для достижения совместной цели при одновременном разделении между ними функций, ролей и обязанностей является кооперация.

Для описания взаимодействий между агентами и между агентами и окружающей средой вводятся три языка разного уровня со следующими коммуникационными функциями: язык составления общих планов и взаимодействия с другими агентами (L2), язык локального планирования (L1), язык исполнительного уровня (L0). Базовая архитектура многоагентной системы представлена на рис. 1.

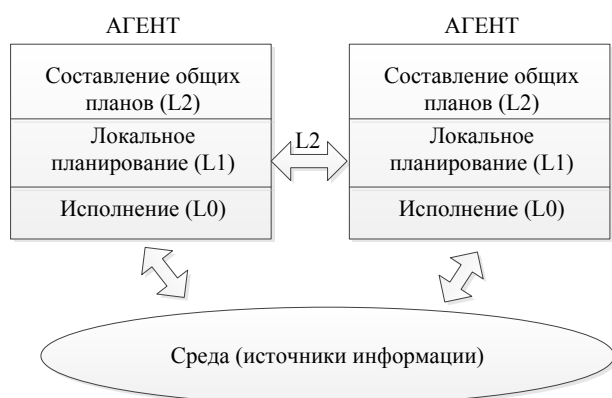


Рис. 1. Базовая архитектура многоагентной системы

Кооперация агентов. Функциональное описание ролей. В многоагентной системе выделены следующие основные роли агентов: обнаружение распределенной атаки типа «отказ в обслуживании»; координатор; блокирование атаки; выявление характеристик работы бота; идентификация бота; интерфейс.

Агенты с разными ролями могут взаимодействовать друг с другом. Согласно алгоритму BNMAR, подразу-

меваются взаимодействие агентов друг с другом посредством услуг специального агента-координатора. Агент обнаружения распределенной атаки, помимо функции обнаружения атаки, должен обеспечивать функцию сбора данных об атакующих системах с последующей передачей их агенту блокирования атаки. Необходимо не только заблокировать каждый источник атаки, но и произвести анализ действий атакующего хоста с целью выявления характерных признаков работы бота. Поэтому агент-координатор передает информацию об атакующем хосте агентам выявления характеристик работы бота. Основная задача этого типа агентов выявить характеристики и передать их агенту-координатору, который, в свою очередь, передаст эти признаки для накопления агентам-интерфейс и агентам идентификации. Агенты идентификации, получив признаки работы бота, будут пробовать идентифицировать ботов такого типа в своих сетях и в случае успешной идентификации передавать информацию о зараженных хостах агенту-координатору. Также агент-координатор должен передать информацию об обнаруженных ботах агентам-интерфейс, а те, в свою очередь, должны обладать возможностью организации и контроля работы вышеуказанных агентов.

Модель взаимодействий. Согласно сказанному выше, можно определить следующие взаимодействия между агентами:

- 1) агент обнаружения распределенной атаки — агент-координатор;
- 2) агент-координатор — агент блокирования атаки;
- 3) агент-координатор — агент выявления признаков бота;
- 4) агент выявления признаков бота — агент-координатор;
- 5) агент-координатор — агент идентификации;
- 6) агент идентификации — агент-координатор;
- 7) агент-координатор — агент-интерфейс;
- 8) агент-интерфейс — агент-координатор.

На рис. 1 представлена диаграмма последовательностей взаимодействий при идентификации ботнета.

Согласно [2], наиболее распространенными специальными моделями кооперации агентов в распределенном искусственном интеллекте являются:

- модель аукционов;
- протокол монотонных минимальных уступок [3];
- модель договорных (контрактных) сетей Смита [4];
- модель социальных зависимостей [5; 6].

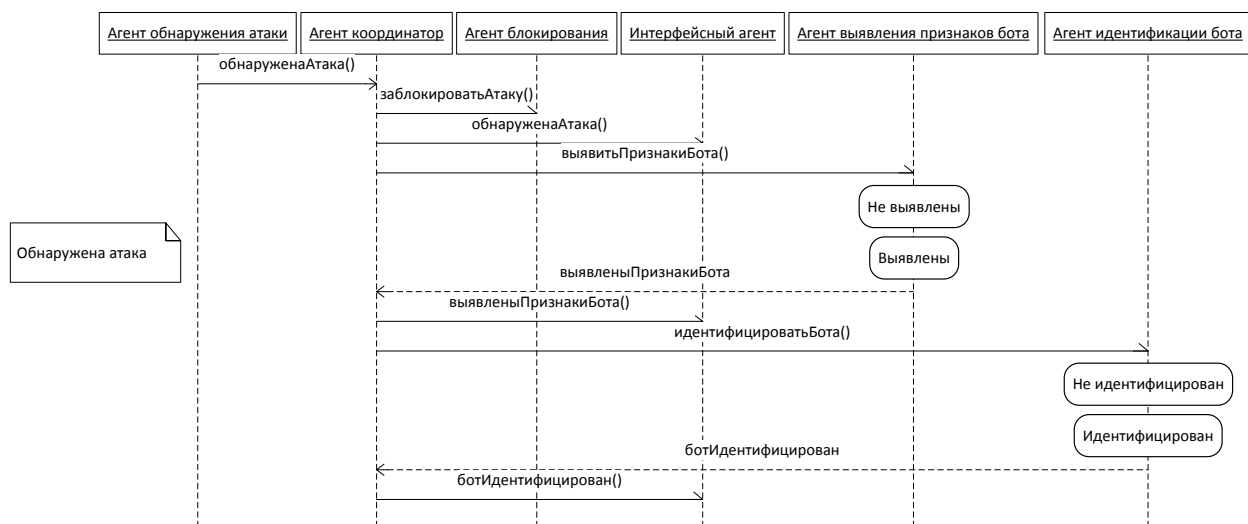


Рис. 2. Диаграмма последовательностей взаимодействия при идентификации ботнета

Исходя из описания многоагентной системы идентификации ботнетов, наиболее предпочтительной моделью кооперации агентов является модель договорных (контрактных) сетей, разработанная в начале 80-х гг. XX в. Р. Смитом [4]. Данная модель предназначена для обеспечения координации агентов в системах распределенного решения задач. Каждый узел сети — это агент, способный выполнить определенные задачи. Если в процессе решения задачи один агент (заказчик) оказывается не в состоянии найти решение самостоятельно, то он обращается к другим агентам — потенциальным исполнителям. Обычно он это делает не сам, а через посредника, который называется агентом-менеджером (брокером). Вполне естественной является реализация агента-менеджера как мобильного агента, путешествующего по сети, в то время как все остальные агенты расположены в своих узлах.

В отличие от стандартной модели Смита, предполагающей, что на запрос заказчика обычно откликаются несколько агентов и организуется конкурс на выбор наиболее подходящего подрядчика, предлагается, что выбор подрядчика будет осуществлять агент-менеджер по заданному критерию. Таким образом, получится избежать основные недостатки данной модели: отсутствие продуманного механизма выбора подрядчика и высокая нагрузка коммуникационных каналов, что особенно важно с учетом задачи применения модели.

В решаемой задаче агентом-менеджером является агент-координатор; агентом заказчиком являются агент обнаружения распределенной атаки, агент выявления характеристик работы бота, агент идентификатор, агент-интерфейс; агентом подрядчиком могут являться агент блокирования атаки, агент выявления характеристик работы бота, агент идентификатор, агент-интерфейс. А исходя из модели, процесс взаимодействия агентов можно описать набором $INT = (A, RR, p, P)$, где A — множество агентов, RR — множество ролей аген-

тов, $p: A \rightarrow RR$ — функция распределения ролей, P — общий протокол взаимодействия между агентами.

В данном случае $RR = \{\text{«обнаружение распределенной атаки»}, \text{«координатор»}, \text{«блокирование атаки»}, \text{«выявление характеристик работы бота»}, \text{«идентификация бота»}, \text{«интерфейс»}\}$. Функция распределения ролей определяется следующим образом:

- $p(A_{detection}^i)$ = «обнаружение распределенной атаки»;
- $p(A_{blocking}^i)$ = «блокирование атаки»;
- $p(A_{discovery}^i)$ = «выявление характеристик работы бота»;
- $p(A_{identification}^i)$ = «идентификация бота»;
- $p(A_{coordination}^i)$ = «координатор»;
- $p(A_{interface}^i)$ = «интерфейс».

Протокол взаимодействия представляет собой множество правил, управляющих взаимодействием. Данный протокол описывается специальным языком составления общих планов и взаимодействия агентов друг с другом — язык L2. Основные назначения языка L2 в рамках многоагентной системы: составление запросов агентов друг к другу; составление ответов на запросы; составление запросов к многоагентной системе.

Таким образом, язык L2 можно представить в виде совокупности компонент $L2 = (bnmar, response, shell)$.

Bnmar — примитивы взаимодействия, определяющие конкретную задачу агента при работе в составе многоагентной системы. По сути, данные примитивы задают организационную структуру агента.

Response — представляет собой форматированный и тегированный текст, содержащий результаты обработки запроса. Результат обработки должен формироваться в доступной форме как для человека, так и для агента.

Shell — язык запросов оператора к многоагентной системе. Этот язык предназначен для осуществления оператором действий по мониторингу и контролю работы многоагентной системы.

Таким образом, можно выделить несколько режимов кооперативного взаимодействия агентов систе-

мы: режим независимого взаимодействия агентов, каждый агент работает независимо; режим управления для A_j , когда агент A_i отдает команду A_j ; режим подчинения для A_j , когда A_i исполняет поручения A_j .

Заключение. В работе рассматривался вопрос кооперации агентов в многоагентной системе идентификации ботнетов. В рамках объектно-ориентированного анализа многоагентной системы было произведено функциональное описание ролей системы, а также был определен язык составления общих планов и взаимодействий между агентами.

Направлением дальнейших исследований автора являются:

- обзор методов анализа трафика и способов выявления характерных признаков работы ботнета;
- оценка эффективности предложенной модели и метода анализа, используя разработанные программные решения.

Библиографический список

1. Косенко, М. Ю. Метод обнаружения ботнетов на основе многоагентного подхода / М. Ю. Косенко // Интеллектуальные технологии обработки информа-

ции и управления : тр. Второй Междунар. конф. Уфа, 2014. С. 20–22

2. Тарасов, В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов. М. : Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.

3. Rosenshein, J. Rules of Encounter: Designing Conventions for Automated Negotiation Among Computers / J. Rosenshein, G. Zlotkin. Cambridge MA : MIT Press, 1994.

4. Smith, R. G. The Contract Net Protocol: High Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver / R. G. Smith // IEEE Transactions on Computers. 1980. Vol. 29, № 12. P. 1104–1113.

5. Castelfranchi, C. Social Power: a Point Missed in Multi-Agent Systems, DAI and HCI / C. Castelfranchi // Decentralized Artificial Intelligence / ed. by Y. Demazeau, J.-P. Muller. Amsterdam : Elsevier North-Holland, 1990. P. 49–62.

6. Conte, R. Limits and Levels of Cooperation: Disentangling Various Types Prosocial Interaction / R. Conte, M. Miceli, C. Castelfranchi // Distributed AI II / ed. by Y. Demazeau, J.-P. Muller. Amsterdam : North-Holland, 1991.

ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МАТЕРИАЛОВ

Представлены проектные решения для программного обеспечения гранулометрической оценки шихтовых материалов, загружаемых в дуговую сталеплавильную печь. Программное обеспечение разрабатывается с целью повышения достоверности и полноты информации такой оценки и основано на анализе изображений. Проектные решения выполнены в виде блок-схем алгоритмов на основе составленного технического задания на автоматизированную систему и являются основой для программной реализации системы.

Введение. Описание технических требований и построение проектных решений являются неотъемлемыми этапами разработки автоматизированной системы (АС). От грамотного, четкого, логически выстроенного и полного проектирования системы зависит качество дальнейшей реализации системы, отладки, тестирования, возможность ее масштабируемости и удобство конечного применения. Требования к автоматизированной системе излагаются в техническом задании (ТЗ) на АС, которое составляется в соответствии с требованиями ГОСТ 34.602–89, ГОСТ 19.201–78 [1; 2] и является источником для дальнейшего проектирования и реализации АС. Авторами работы была поставлена цель построения автоматизированной гранулометрической оценки [3]. На основе технических требований из разработанного ТЗ для программного обеспечения гранулометрической оценки материалов необходимо выполнить построение проектных решений в виде блок-схем алгоритмов.

Технические требования и проектные решения для системы. В подразделе «Требования к структуре и функционированию системы» разработанного ТЗ кратко описано назначение таких функциональных подсистем, как подсистема основной формы программы, подсистема предварительной обработки изображения, подсистема морфологической обработки изображения, подсистема сегментации изображения, подсистема распознавания изображения.

Гранулометрическая оценка выполняется на основе обработки и анализа цифрового изображения шихтовых материалов для дуговой сталеплавильной печи. Исходное изображение проходит обработку по методике, алгоритм которой представлен на рис. 1.

На вход системы подается цифровое изображение и строится его гистограмма яркости. В зависимости от распределения яркости на гистограмме и визуальной оценки изображения выполняется его предварительная обработка — коррекция яркости и контраста — с целью улучшения. После каждого изменения яркости или контраста строится новая гистограмма. Далее также для улучшения изображения выполняется морфологическая операция над изображением (дилатация или эрозия). Затем выполняется сегментация изображения, в ходе которой выделяются контуры. Конечным этапом является распознавание изображения, целью которого является гранулометрическая оценка материалов, то есть определение характеристик гранул материала на изображении (количество, площадь, минимальная и максимальная площади) и построение гистограммы распределения площадей гранул материала.

Схема работы подсистемы предварительной обработки изображения представлена на рис. 2. В зависимости от выбранных параметров выполняется коррекция яркости или контраста исходного изображения и строится его гистограмма яркости, которая является индикатором контрастности изображения [4].

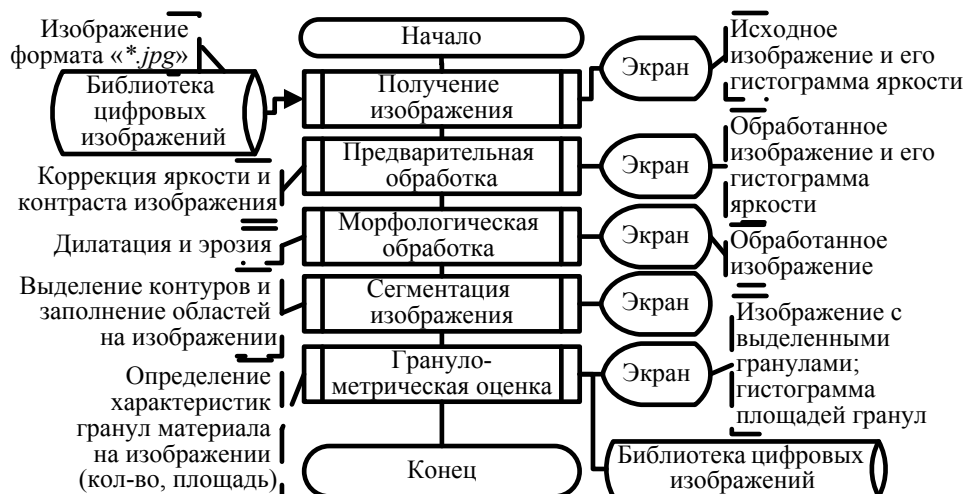


Рис. 1. Функциональная схема работы системы для обработки изображений

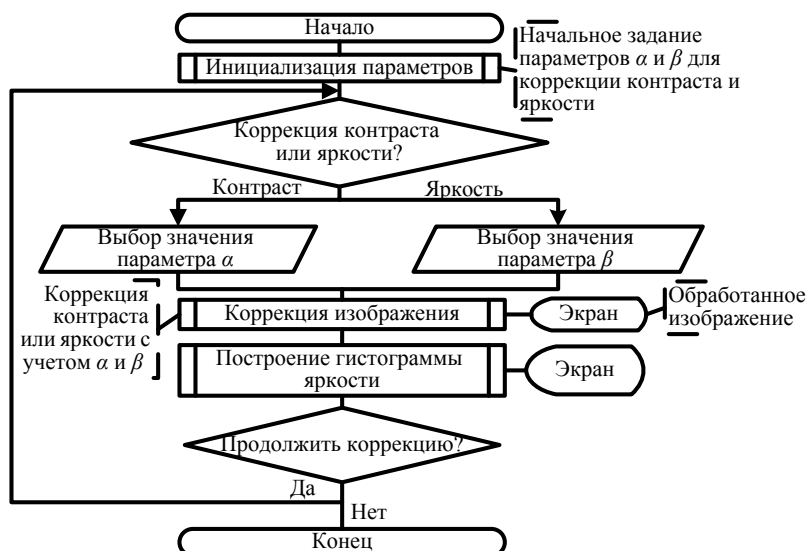


Рис. 2. Схема работы подсистемы предварительной обработки изображения

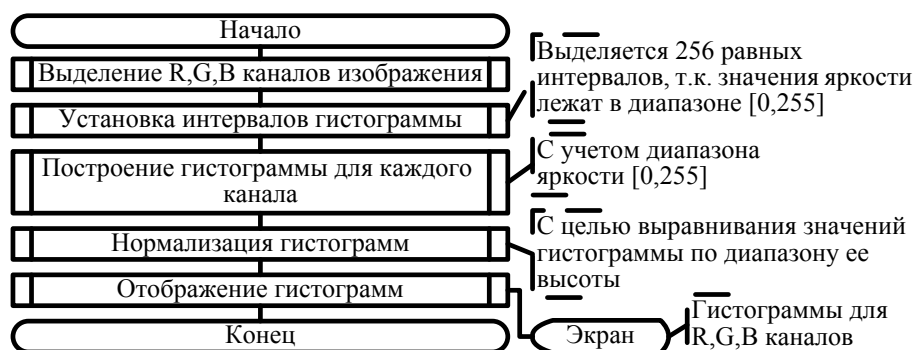


Рис. 3. Алгоритм построения гистограммы яркости изображения



Рис. 4. Схема работы подсистемы морфологической обработки изображения



Рис. 5. Схема работы подсистемы сегментации изображения

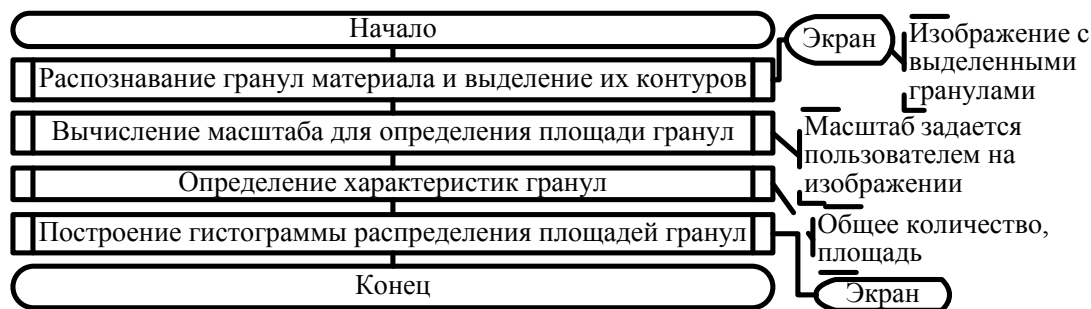


Рис. 6. Схема работы подсистемы распознавания изображения

Алгоритм построения гистограммы яркости изображения представлен на рис. 3 [4]. Так как ведется обработка цветного RGB-изображения, то гистограмма яркости строится для каждого канала (R, G, B) отдельно.

Следующий этап обработки изображения в системе — морфологическая обработка, также направленная на улучшение изображения (рис. 4) [4]. Пользователь системы выбирает параметры морфологической обработки. С учетом выбранных параметров выполняется морфологическая операция над изображением.

Далее выполняется сегментация изображения, в ходе которой происходит выделение контуров и заполнение областей изображения (рис. 5).

Заключительным этапом работы системы является распознавание изображения, целью которого является гранулометрическая оценка шихтовых материалов, представленных на изображении (рис. 6). Результатом работы подсистемы является изображение с выделенными гранулами и гистограмма распределения площадей гранул.

Закключение. На основании требований разработанного технического задания выполнено постро-

ение проектных решений для программного обеспечения гранулометрической оценки материалов. Выполненные проектные решения являются основой для следующего этапа разработки системы — непосредственной программной реализации.

Библиографический список

1. ГОСТ 34.602-89. Техническое задание на создание автоматизированной системы. Введ. 1990–01–01. М. : Стандартиформ, 2009. 11 с.
2. ГОСТ 19.201-78. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. Введ. 1980–01–01. М. : Стандартиформ, 2010. 2 с.
3. Максимов, М. А. Инструментальные средства автоматизированной обработки изображений при анализе гранулометрического состава / М. А. Максимов, О. С. Логунова // Proceedings of the 2-nd International Conference on Intelligent Technologies for Information Processing and Management. Ufa : Ufa State Aviation Technical University, 2014. Vol. 1. P. 32–36.
4. OpenCV Tutorials // OpenCV [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.opencv.org/doc/tutorials/tutorials.html> (дата обращения: 28.12.2014).

А. С. Марков

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ТРЕБОВАНИЯМ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИИ: СМЕНА ПАРАДИГМЫ

Рассмотрены концептуальные вопросы сертификации средств защиты информации по требованиям безопасности информации. Показана необходимость смены парадигмы сертификации средств защиты информации. Дан анализ статистики сертификационных испытаний. Сделаны предложения по развитию системы сертификации.

Введение. Основу технического регулирования индустрии информационной безопасности (ИБ) составляет оценка соответствия, которая в нашей стране проводится в форме обязательной сертификации средств защиты информации (СЗИ) по требованиям защиты информации. В виду длительности и высокой стоимости выполнения проверок динамично развивающихся ИТ-систем с целью получения достоверных оценок показателей безопасности информации, вопросы сертификации требуют постоянного переосмысления и совершенствования [1].

Основы сертификации средств защиты информации. Сертификация СЗИ по требованиям безопасности информации представляет собой обязательное независимое подтверждение соответствия СЗИ требованиям нормативных документов по безопасности информации с учетом правил федеральных органов в рамках их компетенции [2]. Участники сертификации: заявитель (разработчик, изготовитель или поставщик), испытательная лаборатория, орган по сертификации, федеральный орган.

В настоящее время приняты две схемы сертификации: партии изделий и серийного производства. В последнем случае проводится испытание типового образца и собственно экспертиза (аттестация) производства СЗИ. Заявитель на сертификацию СЗИ (которым может быть разработчик, изготовитель или поставщик) должен иметь необходимые лицензии.

Можно определить методологические уровни: испытания, методы, технологии, методики, инструментальные средства. Требования по безопасности включают требования по безопасности СЗИ и безопасности среды: $S_{cs} = \langle S_{cs}^{(1)}, S_{cs}^{(2)} \rangle$, где s — размерность векторного показателя.

Эффективность сертификации средств защиты информации. Эффективность сертификации СЗИ (как операции [3; 4]) порождается совокупностью свойств: результативностью, ресурсоемкостью, оперативностью, то есть ее можно оценить с помощью следующего e -мерного вектора: $E_{ce} = \langle S_{cs}, R_{cs}, T_{cs} \rangle$, где S_{cs} , R_{cs} , T_{cs} — векторные показатели результативности, ресурсоемкости и оперативности.

Формализованное описание цели сертификации можно описать критерием пригодности: $E_{ce} \in \{E_{ce}^D\}$, где $\{E_{ce}^D\}$ — область допустимых значений показателя

E_{ce} качества результатов сертификации.

В условиях априорной неопределенности факторов сертификации принято использовать вероятность наступления события, которая характеризует степень его объективной возможности при заданном комплексе условий: $P_{ц} = P(\hat{E}_{ce} \in \{\hat{E}_{ce}^D\})$, где $P_{ц}$ — вероятность достижения целей сертификации.

Итоговой целью сертификации является обеспечение безопасности ресурсов объекта информатизации, в общем случае — автоматизированной системы (АС). В то же время, показатели безопасности информации СЗИ четко заданы в нормативных документах. Как известно, нормативные документы являются отражением текущей доктрины информационной безопасности (ИБ). Сказанное позволяет сформулировать теоретическое положение, что результативность сертификации СЗИ отстает от результативности оценки эффективности СЗИ на величину отставания нормативных документов от актуальных требований $\{S_{cs}^D\}/\{S_{cs}^D\}$. Указанный разрыв можно определить относительно уязвимостей, угроз и рисков.

Современная парадигма сертификации. Наиболее известными нормативно-методическими документами, регулирующими сертификацию в стране, являются положение, руководящие документы и нормативно-правовые акты, представленные на официальном портале ФСТЭК России [5]. В первую очередь следует отметить текущие показатели результативности сертификации S_{cs} :

- показатель защищенности информации от несанкционированного доступа (НСД), заданный иерархически в руководящих документах Гостехкомиссии России;

- показатель безопасности ПО СЗИ, формулирующий отсутствие недеklarированных возможностей (НДВ).

В первом случае проводится процедура подтверждения (путем функционального тестирования) заданных качественных показателей (например, факт, что пароль должен быть более 6 символов). Если все частные (булевы) показатели подтверждены при проверках, то делается вывод о соответствии СЗИ нормативному документу.

Во втором случае проводится так называемый статический и (при необходимости) динамический

анализ, выражающийся в компиляции и нисходящей декомпозиции программы (сборе маршрутов программ). По завершению проверок делается экспертный вывод об отсутствии НДВ.

Несмотря на то, что указанные методы оценки результативности сертификации имеют ряд косвенных достоинств, следует сделать критический анализ современной доктрины в связи с новыми геополитическими и технологическими условиями. Основными особенностями современной доктрины являются следующие:

- часть показателей защищенности заданы директивно, то есть могут не иметь нагрузки для обеспечения безопасности реального объекта информатизации;
- формально не определена полнота тестирования, то есть обоснование достоверности носит субъективный характер;
- методический аппарат испытаний опирается на теорию надежности, то есть мало эффективен при поиске ошибок, связанных с редко используемыми входными данными (например, в случае закладок);
- статичность сертификации, то есть проверка изделия не проводится до следующей пересертификации (решение на которую мало зависит от инцидентов в области ИБ).

Новая парадигма сертификации. Как известно, альтернативным директивному подходу в области ИБ является риск-ориентированный подход.

Сформулируем систему исходящих понятий риск-ориентированного подхода применительно к сертификации СЗИ.

1. Основными факторами ИБ являются (по нисходящей связи): риски ИБ, угрозы (определяющие риски), известные уязвимости (реализация которых может представлять угрозу) и дефекты программ (локализация которых может составить уязвимость).

2. Каждому фактору безопасности соответствуют определенные классы способов проверки, например:

- методы структурного анализа безопасности программ, направленные на выявление дефектов и уязвимостей;
- методы функционального тестирования (от пен-тестов до комплексного анализа уязвимостей), ориентированные на идентификацию угроз, в том числе связанных с известными уязвимостями;
- объектовые проверки, позволяющие оценить риски, связанные с актуальными угрозами.

Легко показать преимущества указанного подхода относительно эффективности сертификации СЗИ.

Изменение рисков ИБ во времени обуславливает переход к инкрементальной (динамичной) сертификации.

Методы тестирования программного обеспечения средств защиты. Методы тестирования ПО СЗИ делятся на функциональные и структурные. В случае проверки защищенности информации от НСД используется функциональный подход, когда проводятся тесты на соответствие заданным нормативным

требованиям. Директивному подходу соответствуют руководящие документы Гостехкомиссии России, на которые опираются все отечественные системы сертификации. Риск-ориентированному подходу соответствует международная методология Common Criteria (CC), в рамках которой формируется конкретное задание по безопасности для СЗИ. Методологии CC придерживается ряд стран, в том числе активно развивается ТК-362 и ФСТЭК России. В настоящее время наблюдается трансформация основ CC в направлении кибербезопасности и снижения сложности, например, в системах сертификации США, Канады, Австралии и др.

Тестирование безопасности кода возможно только путем применения структурных методов, к наиболее известным из которых относятся: тестирование по моделям (прикладная верификация) и сигнатурный анализ.

Статистика по сертификации средств защиты. Анализ работы испытательных лабораторий, аккредитованных во всех системах сертификации СЗИ, позволил получить важные выводы [6]:

- подавляющее большинство критических уязвимостей было выявлено в процессе структурного сигнатурного анализа;
- технологические риски существенно зависят от наличия системы менеджмента информационной безопасности;
- трудоемкость применения методологии Common Criteria соизмерима с традиционными подходами.

Заключение. Наиболее перспективным направлением развития системы сертификации видится внедрение риск-ориентированного подхода. Формирование требований по безопасности информации в соответствии с моделью угроз можно осуществлять на базе методологии Common Criteria, однако с учетом решения проблем сложности указанного подхода. Вопросы обеспечения безопасности программного обеспечения требуют существенной переработки и новых изысканий.

В качестве предложений можно сформулировать следующие:

- приоритетное использование показателей безопасности информации, а не качества и надежности;
- формализация глубины тестирования;
- исследование вопросов интеграции в систему оценки соответствия с учетом приемочных испытаний и периодического контроля;
- формирование рекомендаций (по итогам сертификации) по компенсационным методам защиты информации на объекте;
- формализация требований по оперативному обновлению ПО СЗИ;
- формализация требований по повторной сертификации (инспекционному контролю).

В завершение следует указать, что отсутствие регламента модификации нормативных документов в соответствии с новыми угрозами в области ИБ

является потенциальной причиной возможного снижения эффективности оценки соответствия.

Библиографический список

1. Методическое руководство по оценке качества функционирования информационных систем / А. И. Костогрызов, И. Ю. Жуков, И. В. Зубарев и др. М. : Изд-во 3 ЦНИИ МО РФ, 2004. 352 с.
2. Марков, А. С. Сертификация программ: мифы и реальность / А. С. Марков, В. Л. Цирлов // Открытые системы. СУБД. 2011. № 6. С. 26–29.
3. Петухов, Г. Б. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем / Г. Б. Петухов, В. И. Якунин. М. : АСТ, 2006. 504 с.
4. Юсупов, Р. М. Концептуальные и научно-методологические основы информатизации / Р. М. Юсупов, В. П. Заболотский. СПб : Наука, 2009. 542 с.
5. Марков, А. С. Методы оценки несоответствия средств защиты информации / А. С. Марков, В. Л. Цирлов, А. В. Барабанов; под ред. А. С. Маркова. М. : Радио и связь, 2012. 192 с.
6. Марков, А. С. Опыт выявления уязвимостей в зарубежных программных продуктах / А. С. Марков, В. Л. Цирлов // Вопр. кибербезопасности. 2013. № 1(1). С. 42–48.

С. А. Петунин

МЕТОДИКА НАЧАЛЬНОГО АНАЛИЗА РАБОЧЕЙ НАГРУЗКИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ

Предложен легкий метод получения статистики рабочей нагрузки для вычислительных кластеров. Для анализа характеристик параллельных заданий используется современный язык программирования R.

Введение. Этап внедрения суперкомпьютерных технологий на любом предприятии требует (наряду с решением числовых технических задач) создания эффективных политик проведения вычислений с включением их в общую систему управления информационными системами [1]. Для достижения этой цели необходимо получение различных типов статистики по загрузке вычислительных ресурсов на этапе начальной эксплуатации. Как следствие, персонал и пользователи должны иметь соответствующие средства аналитического исследования получаемых статистических данных [2; 3]. Типовые системы мониторинга оборудования и управления вычислительными заданиями, устанавливаемые разработчиками суперкомпьютеров вместе с операционной системой (Ganglia, Zabbix, Slurm и др.), обычно ориентированы только на задачи текущего контроля и управления [4]. В связи с ограниченной функциональностью штатных средств, оперативная разработка аналитического инструментария — актуальная возможность улучшения процесса управления массовым счетом.

Известны три группы задач сопровождения вычислительных кластеров (ВК), направленных на повышение эффективности использования ресурсов:

- обеспечение готовности и эксплуатационной доступности всех ресурсов ВК;
- повышение эффективности размещения рабочей нагрузки на доступные ресурсы ВК;
- повышение эффективности работы параллельных приложений на выделенных ресурсах ВК.

Автором статьи была предложена и реализована простая методика формирования информационной базы при решении задач второй группы.

Схема анализа. Источником данных для проведения комплексного анализа может служить база исторических данных планировщика и менеджера ресурсов Slurm. При этом с помощью простых команд менеджера для экспорта данных имеется возможность сформировать табличную форму рабочей нагрузки выполненных на кластере вычислительных заданий. Обязательные поля таблицы для последующего анализа должны содержать, в первую очередь, временные характеристики заданий (см. таблицу).

Обработка данных осуществляется с помощью специальной системы интерпретирующего класса на базе языка программирования R [5], которая позволяет минимальными средствами получать описательные статистики, проводить регрессионный и кластерный анализ показателей рабочей нагрузки и обеспечивать нагляд-

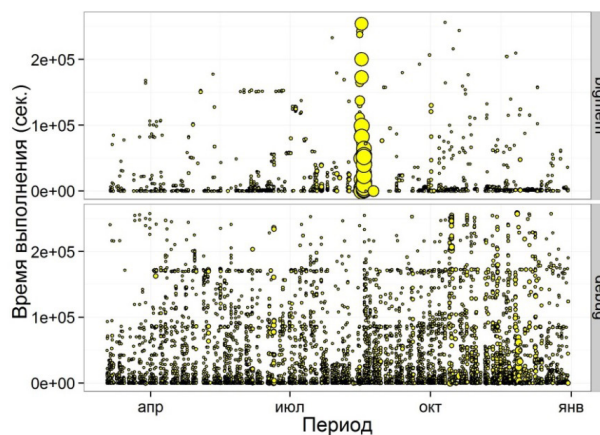
ную визуализацию. Например, график на рисунке локализует место затора в очереди bigmem. Размер точек масштабирует время нахождения задания в очереди.

Базовые временные характеристики задания

Обозначение показателя	Название показателя
t_{Submit}	время формирования задания (постановки в очередь)
t_{Start}	время запуска задания
t_{End}	время завершения выполнения задания
T_{Run}	реальное время выполнения задания (wall-time)
T_{Wait}	время ожидания в очереди
T_{CPU}	объем потребленных заданием процессорных ресурсов
T_{Limit}	запрашиваемое время для выполнения задания
$T_{Int-arr}$	время между двумя последовательными заданиями

Консолидированную статистику рекомендуется подготовить, как минимум, по следующим группам: 1) календарным временным циклам; 2) пользователям; 3) очередям-разделам; 4) типам задач. При анализе поведения пользователей необходимо акцентировать внимание на выявление аномальных процессов в системе. Примером источника аномалий могут служить пользователи-«маргиналы», характеризующиеся, в частности:

- гиперактивностью;
- большим процентом ошибочного завершения задач;
- постоянным завышением запрашиваемого времени счета задания;
- низким средним T_{CPU} на задание и т. д.



Визуальная локализация затора в очередях

Следует обратить внимание также на формирование и изучение статистики создания резерваций ресурсов. Менеджер Slurm умеет обеспечивать статическую привязку узлов на определенный период для конкретной группы пользователей. Хотя организация резерваций обеспечивает возможность проводить приоритетные расчеты, утилизация зарезервированных вычислительных узлов, обычно, недостаточно невысокая.

Разработав несложные скриптовые программы на R для анализа рабочей нагрузки вычислительных заданий, уже на начальном этапе использования суперкомпьютера можно не только получить информацию, кто, когда, где и сколько считал, но и обеспечить информационной базой для принятия решений и определения политик проведения массового счета связанный с эксплуатацией административный персонал.

Заключение. Описанная выше методическая схема была применена при изучении исторических данных планировщика заданий в течение первого года эксплуатации нового вычислительного кластера предприятия. Проведенный статистический анализ показал, что возможны следующие пути уменьшения времени простоя и повышения эффективности использования ресурсов:

- календарное предварительное планирование расчетов на ночное время или выходные и праздничные дни;
- уменьшение доли аварийно законченных или снятых расчетов без получения результатов;
- точное прогнозирование времени выполнения расчетов (для обеспечения работы алгоритма планировщика Backfill);
- внедрение в планировщик «справедливых» алгоритмов с квотированием частоты и размеров заданий;

- разработка механизмов планирования для динамического заполнения свободных ресурсов статически выделенных резерваций;
- решение проблемы эффективной загрузки малозвуковых разделов;
- динамическое изменение суточного размера раздела для коротких по времени заданий.

Библиографический список

1. Абакумов, Е. М. Информационная система управления инженерными данными как инструмент принятия решений в организационной модели предприятия / Е. М. Абакумов, О. В. Ульянин, Н. О. Кожевников, Д. М. Агулова // ITIDS+RRS'2014 : сборник. Уфа, 2014. С. 140–147.
2. Новиков, А. Б. Влияние специализированных алгоритмов планирования заданий на эффективность использования вычислительных ресурсов в частных случаях / А. Б. Новиков, С. А. Петунин // Супервычисления и математическое моделирование : тр. XIII Междунар. семинара. Саров : РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011. С. 213–215.
3. Петунин, С. А. Проблемы и решения автоматизации суперкомпьютинга / С. А. Петунин, А. Б. Новиков, К. В. Иванов // Информационные технологии и системы : тр. Второй Междунар. конф. : науч. электрон. изд. / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. С. 78–80.
4. Petunin, S. A. Management of HPC Clusters: Development and Maintenance / S. A. Petunin, K. V. Ivanov, A. B. Novikov // Proc. of the 15-th International Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2013'. Vienna; Budapest; Bratislava, 2013. P. 43–46.
5. The R Project for Statistical Computing [Электронный ресурс]. URL: <http://www.r-project.org>.

Л. Ф. Розанова, И. А. Лакман, З. В. Максименко

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ФОРМИРОВАНИЯ СТРАТЕГИИ ВЗЫСКАНИЯ ПРОСРОЧЕННОЙ ЗАДОЛЖЕННОСТИ НА ОСНОВЕ КОЛЛЕКТОРСКОГО СКОРИНГА

Внедрение коллекторской скоринговой системы предполагает построение эффективной системы работы с просроченной задолженностью, а также значительное снижение и оптимизацию затрат. Предлагаемая модель коллекторского скоринга позволяет оценить не только вероятность погашения долга заемщиком, но и период, в течение которого он вероятней всего это будет делать. Полученные данные позволяют в полной мере оценить долговой портфель и выбрать эффективные методы воздействия на должников.

Введение. Экономический кризис последних лет в России и мире привел к резкому росту просроченной задолженности по всем видам кредитования, что значительно увеличило нагрузку на коллекторские подразделения банков и агентства.

Эффективность коллекторской работы проявляется в экономии времени и трудозатрат на обработку одного должника. Работа по взысканию долга должна быть построена таким образом, чтобы обеспечить наименьшие потери во времени с наибольшим коэффициентом полезного действия. Это, прежде всего, необходимость более четкого планирования и эффективной расстановки приоритетов в работе каждого коллектора [4]. Оптимизировать коллекторскую деятельность помогает применение современных информационных технологий — систем коллекторского скоринга (collection scoring).

В связи с этим, целью данной работы является разработка инструментария для оптимизации работ по взысканию проблемной задолженности для коллекторских подразделений/агентств.

Постановка задачи. На данный момент единого толкования понятия «коллекторский скоринг» нет. Часто его отождествляют с программными комплексами, которые автоматизируют учет работы по взысканию задолженности коллекторских подразделений банков/агентств. Это не очень корректно, подобно тому, как было бы некорректным приравнивать к кредитному скорингу автоматизированные банковские системы (АБС).

Различные мнения о понятии «коллекторский скоринг» сходятся в том, что он имеет дело с проблемным портфелем, решает задачи, сходные с задачами иных видов скоринга (в том числе кредитного). Это вид скоринга, применяемый для взаимодействия с клиентами, отказывающимися от исполнения условий кредитного договора. Скоринг в этом случае необходим для определения приоритетности действий служащих коллекторского подразделения при работе по возвращению «плохого» кредита.

Таким образом, коллекторский скоринг можно рассматривать как систему определения приоритетных дел и направлений работы по возврату просроченной

задолженности на основе анализа проблемного портфеля, практическим результатом чего будет построение оптимальной стратегии работы с каждым должником.

Для достижения целей коллекторского скоринга необходимо оценить платежеспособность заемщика и спрогнозировать, как он будет производить выплаты по долгу. Традиционная постановка задачи формулируется следующим образом. На основе данных о проблемном займе и информации о заемщике требуется определить вероятность того, что заемщик будет погашать задолженность.

Описание исследования. Дана информация о банковских займах, переданных коллекторскому агентству (данные предоставлены компанией «АлгоМост» [2]). Для каждого займа приведены его характеристики, характеристики просрочки по займу, а также информация о заемщике — всего 29 исходных показателей, в том числе финансовая информация и обезличенные социально-демографические данные.

1. Программа кредитования.
2. Дата выдачи кредита (дата заключения договора на выдачу).
3. Размер кредита, выраженный в рублях.
4. Размер ежемесячного платежа, выраженный в рублях.
5. Число месяца, в которое производится ежемесячная выплата.
6. Срок кредита в месяцах по договору.
7. Дата окончания кредита по договору.
8. Годовая процентная ставка по договору.
9. Тип залога.
10. Количество поручителей.
11. Тип долга.
12. Дата выхода в просрочку.
13. Количество дней в просрочке с даты выхода в просрочку.
14. Общая сумма долга в рублях.
15. Остаток основного долга в рублях.
16. Сумма начисленных штрафов в рублях.
17. Сумма начисленной комиссии в рублях.
18. Сумма начисленной госпошлины в рублях.
19. Начисленные проценты в рублях.
20. Сумма прочих начислений в рублях.

21. Дата рождения заемщика.
22. Пол заемщика.
23. Регион рождения заемщика.
24. Регион фактического места проживания заемщика.
25. Город фактического проживания заемщика.
26. Тип населенного пункта фактического проживания заемщика.
27. Индикатор наличия указанного телефона для связи с заемщиком.
28. Дата последнего платежа.
29. Тип безнадёжности.

Набор предоставленных данных аналогичен набору, предоставляемому банком коллекторскому подразделению/агентству, и разбит на две выборки: тренировочную (с известным откликом) и тестовую (с неизвестным откликом). Тренировочная выборка содержит целевую переменную, которая имеет значение 1, если заемщик производит выплаты по долгу, и 0, если заемщик не производит выплаты по долгу.

По заданному тренировочному набору данных (обучающей выборке) необходимо разработать аналитическую модель, которая для каждого займа из тестовой выборки позволит спрогнозировать вероятность того, что заемщик будет производить выплаты по долгу.

Подобные задачи в мировой и отечественной практике, как правило, решаются с помощью построения логистической регрессии, а также деревьев решений и нейронных сетей [4]. Основным недостатком подобных методов является то, что они позволяют лишь рассчитать вероятность погашения своих долговых обязательств кредитруемым, но не дают ответ на вопрос, в течение какого периода времени он вероятней всего это будет делать. В связи с этим в последнее время стали появляться скоринговые модели, основанные на методах анализа выживаемости (survival analysis), определяющие вероятность погашения задолженности за определенный срок [1; 3]. Однако у подобных моделей тоже есть свой недостаток. На первом этапе они рассматривают всех должников: и тех, которые хоть и с задержкой сроков, но погашают свои долговые обязательства, и тех, которые вообще не делают никаких взносов.

В данном исследовании для построения модели будет применяться двухэтапная модель, построенная по принципу модели Хекмана, включающая на первом этапе модель бинарного выбора попадания в круг должников, а на втором этапе модель выживаемости, позволяющую определить для должников делающих взносы с задержкой, сроки погашения задолженности.

Факторы, определяющие социально-демографические и экономические характеристики должников, в подобной модели будут выступать в качестве контрольных переменных, основной переменной будет объем задолженности. Также на первом этапе будет определена латентная переменная, позволяющая определить критерии отбора должников на «все-таки

погашающих долговые обязательства, хоть и с опозданием» и «злостные неплательщики».

Валидность модели будет оцениваться по совокупности критериев [5]. В дополнение к проценту ошибок верных или неверных предсказаний по полученной скоринговой модели рассчитываются статистические показатели ее качества. Первое направление анализа валидности модели основано на построении ROC-кривой и расчете показателей, производных от нее (коэффициент Джини, AUC). Второе направление — анализ распределения скоринговых баллов и расчет показателей на их основе (статистика Колмогорова — Смирнова, коэффициент разделения и коэффициент дивергенции). Также применяются другие критерии и методы, такие как Байесовский критерий Шварца, критерий Акаике, сравнение распределений скоринговых баллов критерием Манна-Уитни Вилкоксона и др.

Исследование проводится в пакете SPSS, который является одним из лидеров среди программ, предназначенных для статистической обработки информации, в частности, для проведения анализа выживаемости.

Полученные на базе созданной скоринговой модели результаты применяются для планирования работы с должником (исходя из рассчитываемой вероятности положительного исхода), а также определении эффективной последовательности воздействий на должника.

Заключение. Цель коллекторского скоринга — получение максимальной прибыли от взысканий по портфелю за счет правильного выбора стратегии работы с отдельными должниками. Применение его инструментов дает возможность в наикратчайшие сроки оценить наиболее «перспективных» должников (готовых и способных вернуть долги), выявить безнадёжные долги, в соответствии с этим эффективно перераспределить коллекторские ресурсы и снизить операционные издержки по взысканию.

Библиографический список

1. Andreeva, G. European generic scoring models using survival analysis [Электронный ресурс] / G. andreeva // J. of the Operational Research Society. 2006. Vol. 57, № 10. P. 1180–1187. URL: <http://www.palgrave-journals.com/jors/journal/v57/n10/full/2602091a.html>.
2. SAS: Задача коллекторского скоринга [Электронный ресурс]. URL: <http://algotest.com/ru/tasks/sas-collection-scoring>.
3. Груздев, А. В. Оценка времени наступления дефолта [Электронный ресурс] / А. В. Груздев . URL: http://www.cfin.ru/finanalysis/banks/survival_kaplan-meier.shtml.
4. Михмель, П. С. Коллекторский скоринг (collection scoring) / П. С. Михмель, Н. В. Довгий // Банк. дело. 2013. № 2. С. 65–71.
5. Сорокин, А. С. К вопросу валидации модели логистической регрессии в кредитном скоринге [Электронный ресурс] / А. С. Сорокин // Наукoвeдeниe : интернет-журн. 2014. № 2. URL: <http://publ.naukovedenie.ru>.

О. В. Савченко, Д. В. Куреннов

АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ РОБОТА С'АРДУ

Рассмотрены особенности выбора аппаратного обеспечения робота С'АРДУ; проведен анализ основных способов интеграции аппаратных компонентов системы между собой; сделаны практические выводы, на основе которых можно заключить, что правильный аппаратный фундамент проекта — это большой шаг в его развитии. Цель этого проекта — создание интеллектуальной системы для управления роботизированным объектом, которая объединяет традиционные и инновационные программные методы.

Во многих своих творениях, а тем более в роботах — человек всегда старается повторить самого себя, или часть своих функций. Около 80 % информации об окружающем мире мы получаем через зрение, именно поэтому компьютерное зрение является без преувеличения одной из основополагающих областей знания в робототехнике.

Однако, будучи крайне важным и функциональным объектом для исследований, реализация компьютерного зрения содержит ряд важных проблем, требующих решения на всех этапах разработки.

В качестве самых значительных проблем можно назвать повышенные требования к производительности таких систем, условие возможности работы в режиме реального времени, потребность во взаимодействии с встраиваемыми модулями, внедрение и интеграция которых может производиться на любом из этапов разработки системы. Кроме того, план проекта С'АРДУ предъявляет к создаваемой системе свои требования — ограничение по размеру и стоимости, интеграция с микроконтроллером Arduino.

Последний в одиночку не может справиться с обработкой таких больших объемов информации, как обработка видео-изображения, с помощью пусть даже самой простой нейронной сети. Однако управление всеми драйверами (драйвер двигателей, сервоприводы, звуковой драйвер) было предоставлено именно Arduino MEGA 2560. Такой выбор объясняется многообразием готовых встраиваемых программных модулей Arduino для управления любыми устройствами, и, как следствие, облегчения работы с датчиками. Анализ рынка мини-компьютеров показал преимущества Raspberry Pi. В частности, при сравнении с разработками 2010-х гг. (МК802, CuBox) выявлены следующие выгодные качества Raspberry Pi [1]:

- наличие портов-пинов общего назначения (GPIO), полезных для интеграции с Arduino;
- наилучшее соотношение цены и производительности;
- процессор ARM 11, частотой до 1000 МГц;
- низкая потребляемая мощность (около 1 Вт);
- заявленная возможность обработки видео формата 1080p (чуть меньше на практике).

Ниже приведены характеристики одноплатного компьютера Raspberry Pi Model B (рис. 1), использованного при разработке робота С'АРДУ:

- процессор до 1000 MHz ARM 11;
- память 512 MB SDRAM;
- OpenGL ES 2.0;
- видео 1080p 30;
- аудио H.264 high-profile decode;
- композитный и HDMI видеовыход;
- USB 2.0;
- слот для карты памяти SD/MMC/SDIO;
- системы ввода-вывода общего назначения (порт GPIO, пригодный для управления внешними устройствами);
- дополнительный встроенный USB-концентратор (2 порта);
- Ethernet адаптер 10/100 Мбит (необходим для работы с интернетом);
- open software: ОС Raspbian (Debian, скомпилированный под архитектуру ARM), веб-браузер Midori, предустановленный интерпретатор Python [2].

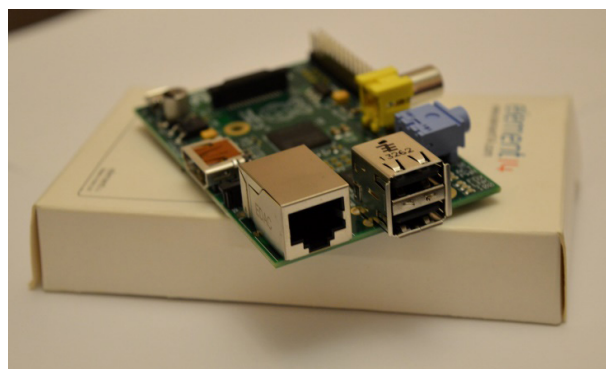


Рис. 1. Микрокомпьютер Raspberry Pi

Основатель ОС Linux Линус Торвальдс объявил Raspberry Pi буквально самым подходящим устройством для проведения научных экспериментов высокого уровня. «Цель Raspberry Pi — поощрять будущих инженеров и разработчиков» — сказал он. Слова великого программиста находят свое подтверждение при разработке проекта С'АРДУ — превосходно адаптируемая ОС Raspbian с открытым исходным кодом, возможность программирования платы

на нескольких алгоритмических языках дает возможность работать с проектом, не теряя времени на переключение внимания между двумя диаметрально разными языками программирования.

Интеграция Arduino и Raspberry Pi. Использование таких устройств, как Arduino и Raspberry Pi без преувеличения смещает стиль инженерного мышления и терминологию из «embedded system» в сторону «intelligence system». Объединение этих мини-компьютеров дает возможность проекту С'АРДУ использовать высокие мощности Raspberry Pi, управляя ими с помощью Arduino. Строго говоря, в такой системе Raspberry Pi является «мозгом», а Arduino — «руками».

Интегрировать платы можно несколькими способами. Первый способ — подключение по USB. Но он имеет недостаток — отсутствие взгляда в будущее, где USB порт может понадобиться для важных целей.

Второй способ — мост (рис. 2). Например, Ponte — разработка молодых инженеров. Это удобный способ интеграции двух плат с помощью третьей.

Именно этот способ является оптимальным для проекта С'АРДУ, так как позволяет использовать всю мощь соединяемых им микрокомпьютеров.

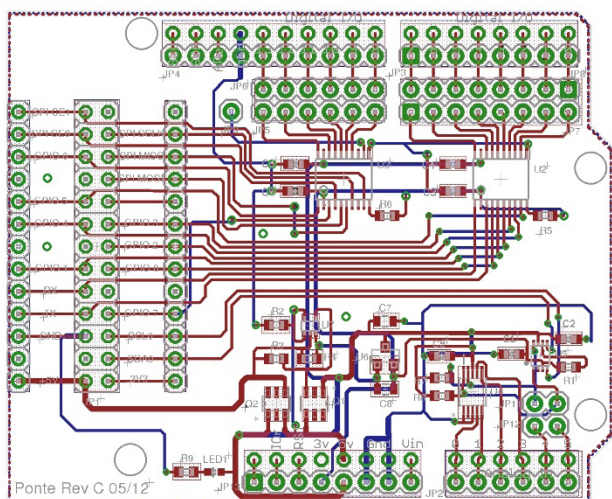


Рис. 2. Мост Ponte для интеграции Arduino и Raspberry Pi

Говоря о программной реализации взаимодействия Arduino и Raspberry Pi, следует подробно остановиться на библиотеке Python PySerial. Данный модуль инкапсулирует доступ к последовательному порту Arduino. Данная библиотека с говорящим именем «серийный» автоматически выбирает соответствующую базовую программу.

Основные особенности библиотеки:

- интерфейс того же класса на всех поддерживаемых платформах;
- доступ к настройкам порта через свойства Python;
- поддержка различных размеров байт, стоп-битов, четности и управление потоком с RTS / CTS и / или on/off;
- работа с или без получения задержек;

– файл как API с «читать» и «написать» («READLINE» и т. д., также поддерживается);

– файлы в этом пакете целиком написаны на языке Python;

– отсутствует зачистка нулевого байта, перевод CR-LF и т. д. (которые разрешены для POSIX) делает этот модуль универсально полезным;

– совместимость с IO библиотеками (Python 2.6+).

Тем не менее наиболее простым способом программирования Arduino при помощи Raspberry Pi является использование пакета Arduino-mk [4]. Это еще один модуль, написанный специально для интеграции двух плат и значительно упрощающий работы с ними.

Механика. Механическая основа робота состоит из четырех колес дифференциальным приводом. Колесные пары имеют общий двигатель, при этом задние колеса являются ведущими, а передние — ведомыми и отвечают только за поворот. Таким образом, система шасси — заднеприводная. Кроме колес имеется шаровая/колесная опора — энкодеры для обратной связи и контроля текущей скорости двигателей, что позволяет более эффективно управлять двигателями.

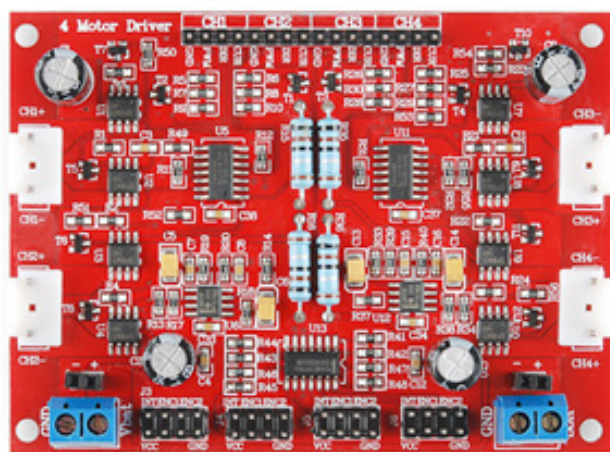


Рис. 3. 4 Channel controller

Контроллером двигателей является Arduino MEGA 2560. В данном случае также закономерен вопрос, существует ли возможность управлять двигателями напрямую с Raspberry Pi? Да, это возможно, но не продуктивно. Дело в том, что операционная система имеет гораздо больший квант времени, нежели микроконтроллер. Кроме того, Raspberry Pi, несмотря на все свои преимущества, не имеет аппаратных ШИМ. Последним аргументом в пользу управления двигателями именно посредством именно Arduino Mega 2560 является возможность улучшения управления двигателями при помощи обратной связи и теории управления. Это потребует вычислительных затрат и более быстрой реакции, поэтому управляющая двигателями часть и мозг робота разделены. Arduino просто получает по UART команду с информацией о том, с какими скоростями и направлениями «мозг» инициирует работу двигателей. Данный эффект

может достигаться, например, простым включением ШИМа с необходимой его для достижения скважности. Существует также другой способ раскрутки двигателя — резкое изменение напряжения. Все эти задачи обязан решать именно Arduino, поскольку данная задача является проблемой гораздо более жесткого времени — практически в два раза меньше, чем позволяет Raspberry Pi.

В качестве драйвера двигателей выбран 4 motor Shield (рис. 3). В основном из-за хорошего соотношения цены и качества данного устройства, а также хорошей интегрируемости с платформой Arduino Mega 2560.

Компьютерное зрение. Зрение, пожалуй, единственный «орган чувств» С'АРДУ, не требующий управления при помощи Arduino. Причин такого выбора несколько. Во-первых, данные, полученные с камеры, полностью обрабатываются в Raspberry Pi. Во-вторых, в настоящее время специально для Raspberry Pi разработано портативное устройство записи и передачи видео, которое интегрируется с одноплатным компьютером посредством шины — Raspberry Pi Camera (рис. 4). Альянс двух устройств от Raspberry позволяет на начальных этапах работы с проектом значительно облегчить обработку видео. Помогает в этом OpenCV [3] (Open Computer Vision) — библиотека компьютерного зрения с открытым исходным кодом, предоставляющая набор типов данных и численных алгоритмов для обработки изображений алгоритмами компьютерного зрения.



Рис. 4. Raspberry Pi Camera

CV — модуль обработки изображений и компьютерного зрения, который позволяет производить:

- базовые операции над изображениями (фильтрация, геометрические преобразования, преобразование цветовых пространств и т. д.);
- анализ изображений (выбор отличительных признаков, морфология, поиск контуров, гистограммы);
- анализ движения, слежение за объектами;
- обнаружение объектов, в частности лиц;
- калибровка камер, элементы восстановления пространственной структуры.

Возможность работать с OpenCV, написанной на языке высокого уровня C++, открывает большие возможности при интеграции с этой библиотекой основного элемента вычислительной системы робота — нейронной сети, реализованной в Visual Studio.

Итак, проект С'АРДУ имеет полностью укомплектованное аппаратное обеспечение, элементы которого активно взаимодействуют между собой.

Удобство использования и множество готовых библиотек позволяет микроконтроллеру Arduino быстро и беспрепятственно управлять всеми датчиками, в том числе, драйвером двигателей. Высокая производительность одноплатного компьютера Raspberry Pi дает возможность системе управления роботом обрабатывать большие объемы данных, в том числе — обслуживать нейронную сеть.

Благодаря верному выбору и грамотной интеграции управляющих устройств, система управления роботом С'АРДУ автономна и открыта для дальнейшего развития.

Библиографический список

1. Ричардсон, М. Заводим Raspberry Pi. Теория и реализация языков программирования / М. Ричардсон, Ш. Уоллес. М. : Амперка, 2013. 230 с.
2. Raspberry Pi An ARM GNU/Linux [Электронный ресурс]. URL: <http://www.raspberrypi.org/>
3. Bradski, G. R. Learning OpenCV / G. R. Bradski, A. Kaehler. Newton, Massachusetts : O'Reilly Media, 2008. 556 p.
4. Соммер, У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freduino / У. Соммер, под ред. Е. Кондуковой. СПб. : БХВ-Петербург, 2012. 256 с.

С. А. Скрипов

ЧАСТНЫЕ ОБЛАЧНЫЕ РЕШЕНИЯ: ТЕХНОЛОГИИ И ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Рассмотрены вопросы имитационного моделирования облачных решений с целью проектирования частного облака. Описаны подходы, применяемые в процессе моделирования. Выделены технические особенности и различные способы настройки облака, существенно влияющие на его характеристики.

В настоящее время преимущества облачных решений хорошо известны, а сами решения активно внедряются в различных областях. Задачи, решаемые с помощью облака, очень разнообразны. В качестве примеров можно привести хранение файлов пользователей, предоставление базы данных, предоставление виртуального сервера, предоставление виртуального рабочего места. Таким образом, помимо того, что не существует единого подхода реализации такого рода услуг, нет однозначного определения облака [3].

При проектировании частного облака для бизнеса или производства необходимо как минимум решить следующие задачи:

- определить необходимое и достаточное количество ресурсов для качественного предоставления услуг;
- выявить и устранить узкие места в системе;
- определить степень масштабируемости системы.

В настоящее время существует большое количество программных продуктов, позволяющих реализовывать облачные сервисы. В качестве примера можно привести Microsoft System Center, VMware vCloud, OpenStack. Подобные продукты являются основой облака, позволяют автоматизировать множество задач, имеют механизмы адаптивного управления ресурсами и обеспечения отказоустойчивости. Но при этом задача проектирования системы может еще усложниться. Во первых, такие программные комплексы сами по себе довольно требовательны к ресурсам. Например, VMware vCenter требует для своей работы не менее 4 Гб оперативной памяти и использует существенную часть ресурсов процессора. Во вторых, архитектура системы получается достаточно сложной, что также усложняет процесс проектирования. Например, OpenStack предполагает наличие до 10 компонентов, для функционирования которых дополнительно необходимо наличие базы данных, службы каталогов, системы обмена сообщениями.

Для решения вышеперечисленных задач необходимо создать модель облака, учитывающую как характеристики программно-аппаратных комплексов, так и особенности заданий, выполняемых облаком. Для построения модели можно использовать три подхода [1]. Первый — натурная модель, предполагающая построение подобия реальной системы или ее части. Это наиболее точный метод оценки, однако, к сожалению, он не всегда применим ввиду его высокой стоимости.

Вторым подходом является создание математической модели облака. Однако аналитическая матема-

тическая модель программного обеспечения невероятно сложна, поэтому модель будет либо неточной, либо слишком дорогой.

Третьим подходом является создание имитационной модели. Это фактически разновидность математической модели. Имитационные модели — это машинные программы, алгоритмы которых воспроизводят функционирование объекта с некоторым упрощением и выходные характеристики которых определяются статистикой, собираемой с этих моделей во время их прогонов [2]. В настоящее время системы для имитационного моделирования облачных решений уже существуют. Это, например, такие системы, как CloudSim [5] или GreenCloud [4].

На практике наиболее интересным инструментом, позволяющим получить необходимые оценки использования ресурсов, представляется CloudSim. Этот написанный на Java фреймворк имеет слоеную архитектуру [6] и позволяет учитывать множество особенностей реализации облака. Однако для получения адекватной модели облачной системы необходимо наличие моделей технологий и политик, которые там используются на практике. Ниже будут перечислены различные технические реализации компонентов облака, которые могут оказать существенное влияние на его характеристики.

Для реализации необходимых сервисов обычно используются виртуальные машины. Можно выделить три основных способа их реализации.

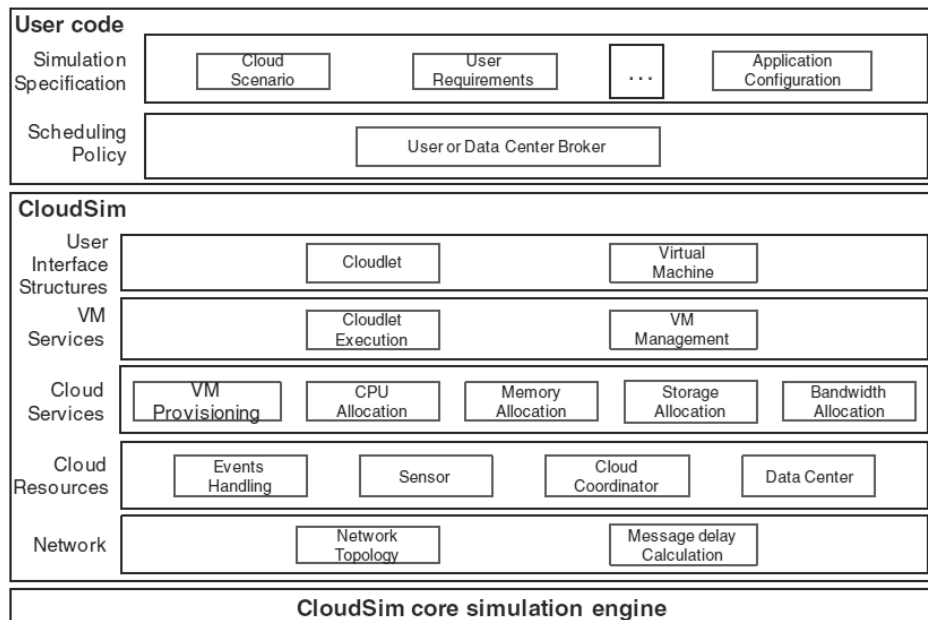
1. Автономные эмуляторы. Позволяют полностью изолировать виртуальные машины, однако имеют недостатки, связанные с производительностью и управлением ресурсами.

2. Виртуализация, встроенная в некоторую среду. Использует средства управления ресурсами базовой операционной системы.

3. Автономный гипервизор. Имеет собственные средства управления ресурсами.

На практике чаще всего используются решения, имеющие признаки всех трех способов реализации. Например, Xen представляет собой автономный гипервизор, построенный на основе ядра Linux, имеющий эмулятор компьютера и сервисную операционную систему, работающую в кольце пониженного уровня.

Для трансляции команд виртуальной операционной системы в реальные команды процессора и соответственно управления памятью и периферийными устройствами могут использоваться два основных подхода:



Слоеная архитектура CloudSim

– паравиртуализация: предполагает модификацию гостевой операционной системы для работы в виртуальной среде;

– аппаратная виртуализация: предполагает наличие процессорной архитектуры, реализующей изоляцию гостевых систем.

От использования того или иного подхода существенно зависит производительность виртуальной машины.

Политика выделения памяти и времени (или ядер) процессора также может существенно различаться. Здесь также можно выделить два основных подхода.

1. Фиксированное выделение ресурсов. Предполагает, что за виртуальной машиной постоянно закрепляются выделенные ресурсы, причем эти ресурсы не могут больше использоваться никакими другими потребителями. В некоторых решениях ресурсы не освобождаются даже при выключении виртуальной машины.

2. Memory overcommit и CPU overcommit. Облако оперирует не реальными, а виртуальными процессорами и памятью, количество и размер которых может быть большим, чем в реальности. Обычно все виртуальные машины не используют выделенные ресурсы постоянно на 100 %, однако если это случится, систему ожидает существенное снижение производительности.

Большое влияние на производительность может оказывать организация хранилища данных. На эффективность хранилища оказывают влияние следующие факторы: способ доступа к хранилищу, тип устройств хранения данных, размер кэшей и политика кэширования.

Также существенное значение имеет политика развертывания виртуальных машин на физических хостах и хранилищах. Здесь можно выделить два основных подхода:

– Packin: минимизируется количество используемых хостов и хранилищ; такая политика может использоваться для экономии энергии и ресурсов.

– Striping: виртуальные машины «распыляются» по хостам и хранилищам; такая политика позволяет увеличить доступность ресурсов для виртуальных машин.

Таким образом, для получения оценок, необходимых для проектирования облака, существующих систем имитационного моделирования может оказаться недостаточно. Необходимо разработать модели конкретных технических реализаций и модели обслуживания, а также проверить их адекватность.

Библиографический список

1. Борщев, А. От системной динамики и традиционного ИМ — к практическим агентным моделям: причины, технологии, инструменты [Электронный ресурс] / А. Борщев. Режим доступа: <http://gpss.ru/paper/borshevarc.pdf>, свободный.
2. Моделирование современных телекоммуникационных систем / И. А. Соколов, С. В. Антонов, С. Я. Шоргин // ICSNET' 2001 : тр. Междунар. симп. по проблемам модульных систем и сетей. М. : Физ.-техн. ин-т РАН, 2001. С. 210–220.
3. A break in the clouds: towards a cloud definition / Luis M. Vaquero, Luis Rodero-Merino, Juan Caceres, Maik Lindner // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 2009. Vol. 39, Issue 1. P. 50–55.
4. A Packet-level Simulator of Energy-aware Cloud Computing Data Centers / D. Kliazovich, P. Bouvry, S. U. Khan // J. of Supercomputing. 2012. Vol. 62, № 3. P. 1263–1283.
5. Bandwidth-aware Divisible Task Scheduling for Cloud Computing / Weiwei Lin, Chen Liang, James Z. Wang, Rajkumar Buyya // Software: Practice and Experience. New York, 2014. P. 163–174.
6. CloudSim: a toolkit for modeling and simulation of cloud computing environments and evaluation of resource provisioning algorithms [Электронный ресурс] / Rodrigo N. Calheiros, Rajiv Ranjan, Anton Beloglazov et al. URL: <http://osnet.cs.nchu.edu.tw/powpoint/seminar/2011/cloudsim.pdf>.

ПОРЯДОК СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Существует значительное количество подходов к этапам жизненного цикла информационных систем. В данной работе рассмотрена модификация последовательности этапов разработки информационной системы для приборостроительного предприятия с учетом современных требований по адаптивности к бизнес-процессам.

В настоящее время в России в целом и в оборонно-промышленном комплексе в частности создается значительное количество автоматизированных систем управления (АСУ), которые применяются в различных областях деятельности, например [4–7]. Нормативная база в этой области достаточно не современна, однако используется в настоящее время, особенно государственными организациями. Порядок разработки и внедрения таких систем, а также оценка влияния изменений на стадии эксплуатации на первоначальные требования к АСУ является предметом рассмотрения в настоящей статье.

Существует ряд моделей разработки информационных систем в целом и программного обеспечения в частности, однако в России разработка АСУ регламентируется ГОСТ 34.601-90 «Автоматизированные системы. Стадии создания», который рекомендует последовательность создания АС.

Результатом работ должна стать работоспособная система, обеспечивающая высокий уровень удовлетворенности пользователей системы. Здесь следует отметить, что, к сожалению, степень удовлетворенности пользователей результатами разработки системы и степень соответствия системы техническому заданию не всегда есть одно и то же. Насколько возможно соблюсти эту последовательность на практике даже с учетом допущений, предлагаемых стандартом? Рассмотрим этот вопрос подробнее. Скорость изменений в современном мире постоянно нарастает: меняются люди, бизнес-процессы и, конечно же, ИТ-системы. Объем хранящейся информации растет в четыре раза быстрее, чем мировая экономика, в то время как вычислительная мощность компьютеров увеличивается в девять раз быстрее [2]. Информационные системы сегодня должны служить инструментом принятия управленческих решений в различных сферах деятельности [3] и необходимо учитывать фактор воздействия человека на эффективность внедренных решений.

В таких условиях соблюдение последовательности, рекомендованной стандартом, не всегда возможно. Начнем с последней стадии — сопровождения АС. На данной стадии предлагается рассмотрение недостатков внедренной АС и корректировка документации. По опыту авторов этого явно недостаточно. Количество и характер изменений на данной стадии

может привести к кардинальной переделке системы и коснуться практически всех пунктов технического задания. Основные причины таких изменений можно охарактеризовать по-разному: некачественная проработка ТЗ, неучет мнений всех заинтересованных сторон, формальное согласование проектных решений и т. д. Конечно, доля правды есть в каждом из этих предположений, однако коренной причиной такого состояния является принципиальная невозможность выработки всех требований к системе до прохождения «точки невозврата». Такой точкой является период окончания стабилизации системы, который характеризуется невозможностью реализации поддерживаемых бизнес-процессов без использования системы. Иными словами, должна быть выработана система мер и барьеров для пользователей, которые должны препятствовать работе вне системы. Такие барьеры должны вводиться постепенно именно в начале стадии «Сопровождение АС» до достижения установленного уровня стабилизации системы, когда количество запросов на изменения снижается до рабочего уровня. Примерами таких ограничений могут служить, например, запрет на прием в контролирующих службах бумажных документов в системах электронного документооборота, невозможность отпуска товара на складе без электронного документа, оценка деятельности служб только по результатам расчетных показателей из автоматизированной системы и др. Пользователи, заказчики, аналитики при создании систем не всегда представляют потенциальные возможности и область применения систем, их интересы направлены в различных плоскостях, часто функциональная структура управления не способствует реализации сквозных процессов, отраженных в ИТ-системе. Пользователь в крупномасштабных системах должен осознать необходимость и жизнеспособность системы, ее исключительность в выполняемой задаче и невозможность работать по-другому. Это осознание для основной массы является стимулом к генерации запросов на изменение и дополнительных требований к системе. Четкое определение модели стейкхолдеров на начальном этапе значительно увеличивает результаты от внедрения автоматизированной системы, однако также не гарантирует полное предотвращение изменений на этапе сопровождения.

Последовательность этапов работ по созданию автоматизированной системы

Рекомендуемая ГОСТ последовательность этапов	Предлагаемая последовательность
Вормирование требований к АС	Предпроектное обследование
Разработка концепции АС	Выработка технических требований к системе
Техническое задание	Создание макетного образца
Эскизный проект	Опытно-промышленная эксплуатация
Технический проект	Доработка с выпуском следующей версии
Рабочая документация	Ввод в промышленную эксплуатацию
Ввод в действие	Дальнейшее развитие до переработки системы целиком и ее замены
Сопровождение АС	

Рассмотрим начальные этапы создания АС, возможность и необходимость их проведения. Стандарты позволяют совмещать этапы выполнения работ, определять последовательность выполнения, однако всегда ли выполняются эти этапы в целом? В рамках работы с государственным заказчиком стадии, включая техническое задание, должны относиться к этапу выполнения научно-исследовательских работ, которые не всегда получают необходимые финансирование и поддержку. Коммерческие подрядчики при создании информационных систем стремятся сделать хотя бы предпроектное обследование, на основании которого готовится техническое задание на создание системы. Что же происходит при работе на внутреннего заказчика? Без предпроектного обследования обойтись практически невозможно, а техническое задание? Несомненно, что необходимо сделать определенную формализацию результатов обследования и согласовать ее с заказчиком, однако полноценное техническое задание получить практически невозможно и, главное, нецелесообразно. Фактически концептуальная проработка на данной стадии достаточна для начала разработки, вследствие значительной неопределенности на данной стадии и трудоемкости согласования подробного документа.

Стадии эскизного и технического проектирования не только могут быть объединены, но и должны быть заменены на разработку прототипа системы с разработкой проектов руководств пользователя и администратора системы.

Стадия рабочей документации должна проходить параллельно созданию прототипа системы и последующим стадиям опытно-промышленной эксплуатации и развития.

Необходимо сказать, что развитие системы будет проходить итерационно, обычно используемый термин «стабилизация системы» после ввода в промышленную эксплуатацию означает, что новые пользователи не только начнут вовлекаться в работу с системой, но и будут вырабатывать ранее неучтенные требования. Игнорирование этого фактора приведет к снижению эффективности внедрения информационной системы из-за затягивания сроков или неполного охвата функций, реализуемых автоматизируемыми бизнес-процессами.

Отдельного внимания заслуживает вопрос приемки систем автоматизации управления. Опыт приемки автором отраслевой системы показывает, что приемка на соответствие техническому заданию не дает ответа на вопрос по эффективности использования и степени внедрения системы. Требуется поиск других подходов, одним из которых могут быть комплексные примеры, когда объект автоматизации всесторонне рассматривается через призму автоматизируемых бизнес-процессов на базе типовых представителей (изделий в плане производства, научно-исследовательской работы, договора, комплекта конструкторской или технологической документации и др.). Этот подход заслуживает отдельного рассмотрения, особенно в противопоставлении с результатами приемки на основе подтверждения требований ТЗ.

Рассмотрим на примере одной из разработанных систем автоматизации управления зависимости, характеризующие ее жизненный цикл, по мнению авторов. Такими зависимостями являются: изменение количества пользователей системы в зависимости от времени, прошедшего с момента ее начала тестирования, количество строк кода системы, объем данных системы, ресурсоемкость запросов к данным системы.

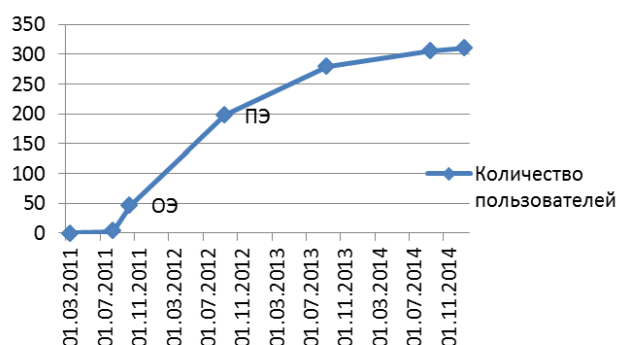


Рис. 1. Количество пользователей одной из систем автоматизации

На рис. 1 и рис. 2 приведено количество пользователей одной из систем автоматизации (деятельность по материально-техническому обеспечению) и доля позиций номенклатуры электрорадиоизделий (ЭРИ), обработанных в системе, относительно общего количества позиций потребности в системе соответ-

венно. На графиках видно значительное увеличение количества пользователей и информации в системе после ввода в промышленную эксплуатацию (точка 4 и далее).

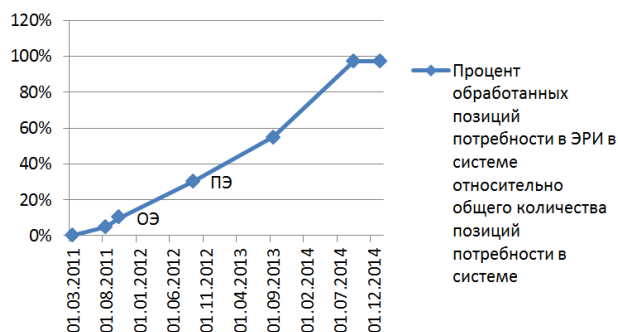


Рис. 2. Доля позиций номенклатуры электрорадиоизделий

Таким образом, в таблице представлена рекомендуемая и предполагаемая последовательность этапов работ по созданию автоматизированной системы.

Принципиальными отличиями является отсутствие необходимости создания полномасштабного технического задания и, как следствие, нецелесообразность приемки только по жестким техническим требованиям, а также принципиальная невозможность полного учета требований стейкхолдеров на начальных этапах эксплуатации системы.

Дальнейшие усилия в области исследования реальных жизненных циклов крупномасштабных систем должны служить основой для создания современной базы в этой области.

Библиографический список

1. Красин, В. Создание концепции внедрения крупной ИТ-системы [Электронный ресурс] / В. Красин, И. Снигирев // PC Week/RE. 2014. № 4 (859). URL: <http://www.pcweek.ru/management/article/detail.php?ID=160223>.

2. Майер-Шенбергер, Виктор. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим / Виктор Майер-Шенбергер, Кеннет Кукер. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2013. 240 с.

3. Абакумов, Е. М. Информационная система управления инженерными данными как инструмент принятия решений в организационной модели предприятия / Е. М. Абакумов, О. В. Ульянин, Н. О. Кожевников, Д. М. Агулова // ITIDS+RRS'2014 : сборник. Уфа, 2014. С. 140–147.

4. Абакумов, Е. М. Интеграция автоматизированных систем, участвующих в процессе обеспечения товарно-материальными ценностями предприятия приборостроительного профиля / Е. М. Абакумов, Д. М. Агулова, Н. О. Кожевников // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD – 2013) : тр. Седьмой Международ. конф. : в 2 т. / под общ. ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. М., 2013. Т. 2. С. 20–29.

5. Абакумов, Е. Особенности интеграции автоматизированных систем, участвующих в процессе управления движением товарно-материальных ценностей предприятия приборостроительного профиля на примере ФГУП ВНИИА / Е. Абакумов, Д. Агулова, Н. Кожевников // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. 2013. № 4. С. 192–199.

6. Петунин, С. А. Проблемы и решения автоматизации суперкомпьютинга / С. А. Петунин, А. Б. Новиков, К. В. Иванов // Информационные Технологии и Системы : тр. Второй Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 27 февр.— 3 марта 2013 г. (ИТиС – 2013) : науч. электр. изд. / отв. ред. А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. С. 78–80.

7. Petunin, S. A. Management of HPC Clusters: Development and Maintenance / S. A. Petunin, K. V. Ivanov, A. B. Novikov // Proc. of the 15-th International Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2013'. Vienna-Budapest-Bratislava, 2013. P. 43–46.

В. Е. Гвоздев, Д. В. Блинова, Г. Ф. Байtimiрова

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СФЕРЕ ЖКХ НА ОСНОВЕ AFD-МЕТОДОЛОГИИ

Исследования поддержаны грантом РФФИ 15-08-01758

Рассматриваются вопросы анализа уязвимости программных систем методами диверсионного анализа на примере инновационного программного комплекса «СУПЕР МКД», предназначенного для работы в сфере ЖКХ.

Жилищно-коммунальное хозяйство — сфера, непосредственно затрагивающая всех жителей страны, все уровни власти, при этом каждый ее участник является как поставщиком, так и потребителем информации в сфере ЖКХ. Главные проблемы этой сферы — некачественное предоставление услуг, отсутствие эффективного инструмента контроля, низкая управляемость в отрасли, высокий уровень монополизации. Из-за этого развивается кризис доверия к поставщикам ЖК услуг и неэффективный расход государственных средств. Для решения этой проблемы необходим комплексный аналитический ресурс, который предоставлял бы объективную информацию о положении дел в ЖКХ.

Системы такого класса содержат в себе достаточно много разнообразной информации о пользователях услуг ЖКХ, что требует дополнительных мер по сохранению информации, ее восстановлению в случае сбоя системы, а также мер по проверке корректности ввода и отображению данных.

Высокие требования, предъявляемые к качеству функционирования системы со стороны населения и руководства ЖКХ, делают актуальной задачу выявления слабых мест программного комплекса на этапе эксплуатации.

Использование диверсионного анализа (anticipatory failure determination, AFD) для оценивания уязвимости программной системы позволяет выявить слабые места программы, что делает возможным своевременно принять меры по ее улучшению.

Ориентируясь на работу [1], можно выделить два способа анализа программных продуктов и проектов:

- Anticipatory Failure Determination-1, AFD-1: сбор данных, основанный на прежнем опыте использования программных систем;
- Anticipatory Failure Determination-2, AFD-2: для предотвращения неуспешного завершения программ-

ного проекта требуется проводить «диверсионный анализ» — необходимо думать как «диверсант», старающийся разрушить систему, при этом не допуская нарушения формальных требований к организации проектов.

Данная работа посвящена анализу инновационного программного комплекса «СУПЕР МКД (Содержание, Управление, Планирование и Ежегодный Ремонт МногоКвартирного Дома)», предназначенного для автоматизации процессов построения муниципальной модели эффективного управления жилищным фондом с точки зрения AFD-методологии.

В программе содержится несколько модулей, каждый из которых отвечает за определенный вид управления МКД (рис. 1).

Модуль «МКД» содержит в себе полное описание всех объектов жилищного фонда, находящихся под управлением данной управляющей компанией: данные по МКД (более 1000 параметров), учет особого оборудования (лифты и приборы учета), справочник улиц, а также все адреса (улица, номер строения) домов, находящихся под управлением компании.

Модуль «Ежегодные осмотры» предназначен для фиксации проведенных осмотров с указанием адреса, описанием и фото обнаруженных дефектов. Здесь же автоматически формируется журнал дефектов для каждого дома на основании осмотров, автоматически рассчитывается оценка физического износа объекта. Также в этой вкладке формируются такие необходимые документы, как акт общего осмотра и паспорт готовности к эксплуатации.

Модуль «Управление» предназначен для хранения нормативно-технической и нормативно-правовой документации предприятия с возможностью загрузки. Здесь фиксируются обращения граждан, ведется диспетчерский журнал. Содержится вся информация об общих собраниях, строится план на год.

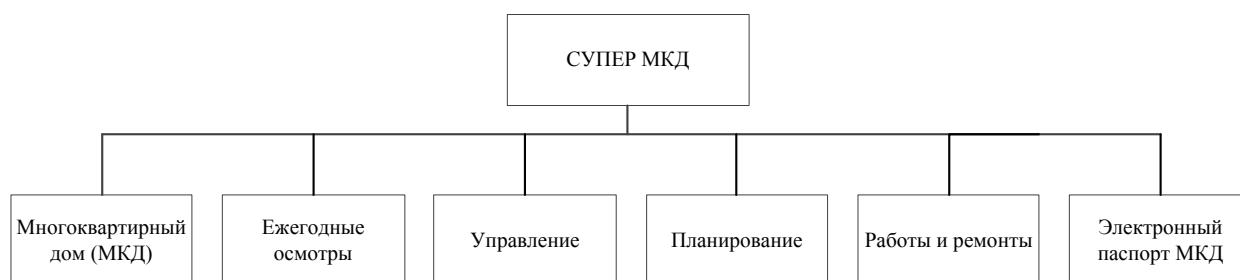


Рис. 1. Состав модулей «СУПЕР МКД»

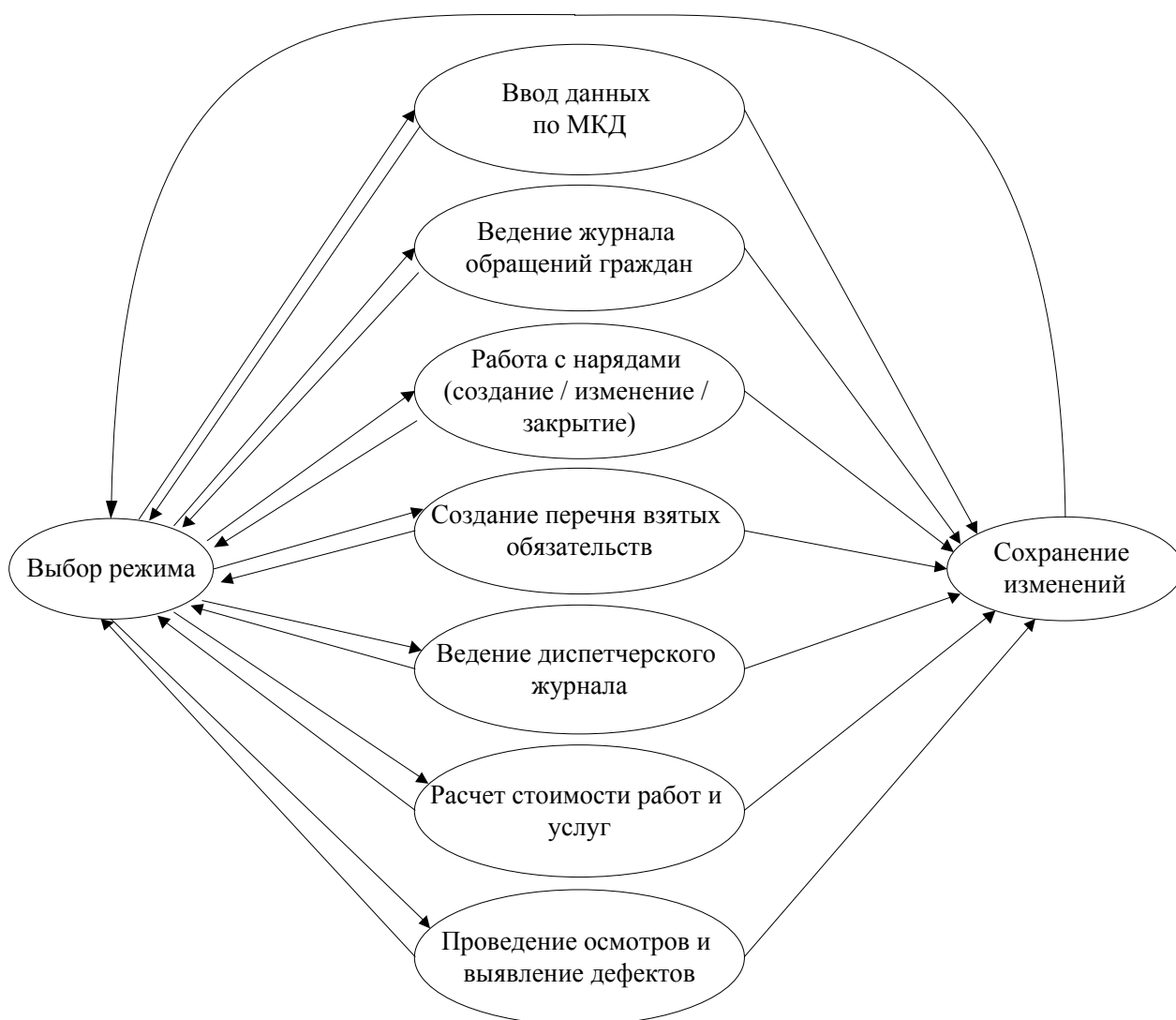


Рис. 2. Состояния системы в рамках функционального подхода

Модуль «Планирование» отражает распределение работ, принятых в «Перечне взятых обязательств» (Вкладка «Управление») по времени и сотрудникам. Здесь формируются наряды на выполнение запланированных работ, а также контроль за выполнением/невыполнением каждого наряда и указаны сметные нормы для каждой выполняемой работы и услуги, перечень всех оказываемых работ и услуг, расчет цен на каждую из них.

Модуль «Работы и ремонты» предназначен для закрытия нарядов, сформированных на этапе планирования. На основании этой информации, имеется возможность формирования отчетов о выполненных/невыполненных работах за любой период, акта о списании материалов.

Модуль «Электронный паспорт МКД» позволяет в автоматическом режиме создавать электронный паспорт для каждого МКД

Глубоко испытать систему до внедрения не представляется возможным из-за ее сложности, конфликтности, большого объема хранимых данных и разнообразных запросов со стороны сотрудников и населения. Именно поэтому для выявления слабых мест системы необходимо использовать AFD-1,

основанный на опыте использования системы.

На рис. 2 показана схема, отражающая состояния программной системы в рамках функционального подхода.

Дальнейшее исследование программной системы с учетом предложенной модели состояний на основе AFD-1 возможно с помощью методов исследования операций, в частности, аппарата систем массового обслуживания. В этом случае необходимо взвесить интенсивности перехода из одного состояния в другое, что позволит оценить финальные вероятности, характеризующие среднее время нахождения системы в данном состоянии.

Анализ уязвимости системы на основе AFD-2 позволяет найти слабые места системы, воздействуя на которые можно добиться значительного отклонения от нормального функционирования программы.

Для данной системы такими воздействиями могут быть неограниченный поток заявок со стороны населения: заявок на ремонт, всевозможных жалоб, писем с необходимостью ответа. Учитывая, что в системе на каждый вид деятельности заложены ограничения по срокам выполнения, большой поток заявок приве-

дет к тому, что не все они будут исполнены в требуемые сроки. Кроме того, персонал, занятый срочной работой, не уделяет достаточно времени другим аспектам работы с системой, например, вводу текущих данных, что, в свою очередь, может привести к отклонению от графика регулярных работ.

Использование методологии AFD для анализа уязвимости программных систем позволяет выявить слабые стороны таких систем для того, чтобы своевременно их усилить, тем самым сократив временные и материальные затраты на устранение внезапно возникших неполадок, что, в свою очередь, приведет к повышению качества готового программного продукта.

Библиографический список

1. Kaplan, S. NEW TOOLS FOR FAILURE & RISK ANALYSIS. An Introduction to Anticipatory Failure Determination (AFD) and The Theory of Scenario Structuring / S. Kaplan, S. Visnepolschi, B. Zlotin, A. Zusman. Ideation International Inc., 1999.
2. Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология / Е. С. Вентцель. 5-е изд. М. : КноРус, 2010. 191 с.
3. Gvozdev, V. E. Using anticipatory failure determination for information system vulnerability assessment / V. E. Gvozdev, D. V. Blinova // ITIDS+RRS'2014. Уфа, 2014. С. 145–147.

ПЕРСПЕКТИВЫ КВАНТОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. РАЗРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Рассмотрены причины необходимости развития квантовых информационных технологий в Российской Федерации. Рассмотрены международные подходы к формированию квантовых сетей, объявлены планы работ по созданию первой квантовой сети в Российской Федерации.

Одним из наиболее актуальных направлений в науке на сегодняшний день является квантовая теория информации. Технологии данного направления разрабатываются во многих ведущих мировых научно-исследовательских центрах, лабораториях, компаниях.

Ввиду наращивания темпов развития квантовых информационных технологий возникает необходимость имплементации данных технологий в Российской Федерации. Область исследования покрывает многочисленные вариации реализаций, сверхпроводниковые технологии, ионные ловушки, ядерный магнитный резонанс и другие модуляции квантовых битов. Возникает вопрос не только обработки информации с помощью квантовых технологий, но и передачи и распространения информации. Квантовые технологии позволяют фактически абсолютную защиту информации. Спектр исследований по передаче и защите информации покрывает как оптоволоконные линии, передачу на спутник, так и вариации с «телепортацией» фотонов путем разрушения одного из фотонов запутанной пары.

В данном докладе, ввиду технологического отставания Российской Федерации в области квантовых информационных технологий, будет рассмотрена исключительно тема защиты информации оптоволоконного канала с помощью распределения квантового ключа.

Актуальность. Проводимые теоретические и экспериментальные исследования в области квантовых информационных технологий демонстрируют широкие перспективы для создания и внедрения принципиально нового класса высокопроизводительных квантовых компьютеров. Работа над созданием прототипов квантовых компьютеров, которые могут работать на различных физических принципах, активно ведется ведущими университетами (Калифорнийский технологический институт, Гарвардский университет, Массачусетский технологический институт и т. д.), специализированными центрами квантовых технологий (Центр квантовой оптики Гарвард-МИТ, Центр ультрахолодных атомов Гарвард-МИТ, Центр квантовых технологий в Сингапуре, Центр квантовой науки и технологий в Калгари и т. д.) и коммерческими организациями (IBM, D-Wave, MagiQ и т. д.) по всему миру. Этот факт, а также появление все новых алгоритмов обработки информации приводит к тому, что проблема безопасности передаваемой информа-

ции в ближайшие несколько лет перейдет из разряда теоретически возможных в реально существующие.

На сегодняшний день для квантовых компьютеров разработаны алгоритмы для эффективного решения задач факторизации больших чисел и дискретного логарифмирования. Наибольший резонанс, и не только в научном мире, вызвал алгоритм Шора. По сравнению с лучшим из известных на сегодня классических методов квантовый алгоритм Шора дает многократное ускорение вычислений, причем, чем длиннее факторизируемое число, тем значительней выигрыш в скорости. С его помощью оказалось возможным взламывать шифры с открытым ключом. Такой алгоритм представляет огромный практический интерес и его возникновение послужило толчком для военных ведомств ряда стран, которые начали финансировать исследования по данной тематике. Квантовый компьютер при его реализации несет тотальную угрозу безопасности передачи защищенной информации с использованием используемых в настоящее время алгоритмов шифрования, поскольку реализация и применение алгоритма Шора на практике дискредитирует основы работы криптографических алгоритмов с открытым ключом RSA и Diffie-Hellman. Таким образом, криптография с открытым ключом, активно используемая коммерческими компаниями, становится уязвимой.

Сеть квантового распределения информации является принципиально новым этапом в развитии защиты передаваемой информации. Основываясь на фундаментальных физических законах и, прежде всего, на соотношении неопределенностей Гейзенберга, использование сети квантового распределения информации позволяет создавать абсолютную защиту от не обнаруженного перехвата передаваемой информации. Актуальность проекта, кроме научной и технической перспективности, определяется также и несомненной коммерческой востребованностью выбранного направления.

Таким образом, исследование сетей квантовой связи представляет собой передовое направление в развитии систем и средств защиты информации. В настоящее время не существует отечественных коммерческих систем квантовой связи. Исследовательские прототипы разработаны в единичных экземплярах. Разработка таких систем, с одной стороны, необходима с целью

обеспечения защищенности интересов государства в информационной сфере, с другой — востребована коммерческими предприятиями. Объединение квантовых линий связи в сети также представляет большой интерес как с исследовательской, так и с коммерческой точки зрения. Исследовательские прототипы гомогенных и гетерогенных квантовых сетей связи были разработаны DARPA (США), Los Alamos National Labs (США, SECOQC (Австрия), SwissQuantum (Швейцария) и Tokyo QKD Network (Япония). Отечественные аналоги сетей квантовой связи на данный момент отсутствуют.

Квантовые сети. Потери фотонов между трансмиттером и ресивером из-за отражений в оптоволоконном кабельном соединении между трансмиттером и ресивером, вместе с теневыми счетами на детекторах получателя, драматически ограничивают максимальный эффективный радиус РКК в сравнении с классическими оптоволоконными коммуникациями. Тем не менее, даже с такими дистанционными ограничениями, исследователи выполнили малогабаритные РКК сети, чтобы продемонстрировать их потенциал. Опишем некоторые из этих сетей.

Сеть Агентства перспективных исследовательских проектов безопасности: представление защиты. В 2002 г. Агентство перспективных исследовательских проектов безопасности США (АПИПБ) построило систему РКК для исследования сетей, которая включала в себя пары систем Алиса и Боб, вместо одиночных систем [1]. Система совместила основанную на РКК генерацию ключа, традиционную Ethernet криптографию и ключ управления для защиты виртуальной частной сети (ВЧС), которые были совместимы с существующей телекоммуникационной инфраструктурой.

Эта система примечательна демонстрацией РКК, использующей существующую защитную технологию и представление идеи «доверенного транслирования». Эта ретрансляционная система сокращает длину сети РКК, но представляет интересы адекватно защищаемой трансляции.

С 2004 по 2008 г. в Европе осуществлялся проект ЗЕКНKK, разрабатывающий и устанавливающий сеть РКК-систем, показывающий преимущества РКК [2]. Сеть состояла из коллекции систем типа точка-точка, включая:

- три системы «Включай и Работай» компании ID Quantique SA;
- однонаправленную систему слабых импульсов компании Toshiba Research из Объединенного Королевства;
- когерентную однонаправленную систему (КОС) от компании GAP Optique-ID Quantique SA Австралийского института технологий (АИТ);
- систему на спутанных фотонах из Университета Вены и АИТ;
- продолжительно-вариативную (ПВ-РКК) систему Центра национальных исследований нау-

ки (ЦНИН), THALES Исследования и технологии и университета Свободы Брюсселя;

– воздушную связь от Университета Людвиг Максимилианса.

Средняя длина соединения была между 20 и 30 километрами, а длиннейшее соединение было 83 километра.

Проект, создавший доверенную сеть ретрансляторов, больше похож на соединенный график, где каждая вершина — это точки РКК, а линии являются коммуникационными каналами. Каждое соединение ретранслирует материал ключа по всей длине соединения. Таким образом, ключ прыгает от соединения к соединению. Ключи перемещаются дальше, используя алгоритм, защищенный с помощью материала РКК-ключа к следующей точке, и процесс повторяется пока ключ не дойдет до пункта своего назначения. Все это создает систему «доверенной ретрансляции», где каждая точка защищена от злонамеренного вмешательства в работу аппаратных средств и атак. Сеть обличила в каждой системе их функции дистилляции ключа и установила для каждой доступ только к квантовому каналу. Это сократило избыточность между системами и продвинуло управление ключом на более высокий уровень сети. Данная архитектура превосходит сеть АПИПБ по обоим показателям — по количеству точек и по максимальной дистанции трансляции.

Швейцарская квантовая сеть: упрощая интеграцию РКК. Швейцарская квантовая сеть соединила три точки — две в центре Женевы и одну в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) — с максимальной длинной трансмиссии в 17,1 километра, используя коммерческий сервер ID Quantique SA id5100. Работала эта сеть с марта 2009 по январь 2011 г. Данные сервера использовали протоколы BB84 и SARG04 для генерации переданного секретного ключа по стандарту сетевых кодировщиков Ethernet по 10Gbps каналу. Эта система представила концепцию нового уровня для РКК-сетей [3]. Добавляя посреднический слой между уровнем РКК и уровнем защиты, можно интегрировать устройства РКК в существующую телекоммуникационную сеть. Усилия в данном исследовании были приложены на генерацию ключа РКК и упрощение архитектуры «Включай и работай». Данная сеть расширила идеи ЗЕКНKK, упрощая добавление РКК в существующие сети без специальных адаптирующих систем РКК.

Токийская сеть: высокоскоростная сеть. Консорциум школ, производств и государственных организаций создал очень похожую на ЗЕКНKK сеть доверенных точек РКК в Токио в 2010 г. для исследования использования большого количества различных типов РКК, работающих вместе [4]. Токийская сеть создала безопасную среду для демонстрации защищенной видео конференции и защищенных мобильных телефонов, стабильную долговременную операцию на высокой скорости.

Девять организаций из ЕС и Японии использовали множество соединений для демонстрации технологий РКК, таких как: некоторые ложно-целевые системы BB84; дифференциальные фазовые скачки (ДСФ) в виде демонстрации РКК; система на спутанных фотонах; коммерческую систему РКК ID Quantique [4]. Сеть состояла из шести связей с максимальной дистанцией 90 км. Сеть была разработана как трехуровневая архитектура, использующая доверенные точки: точки РКК, уровня управления ключом, уровня коммуникаций. Уровень управления ключом примечателен передачей секретных ключей между точками, которые не имеют квантового канала, используя, условно защищенный, криптографический алгоритм на одноразовом нуле.

Планируемый проект квантовых сетей в Российской Федерации. Квантовые линии связи, основанные на диодных детекторах, подлежат взлому. Методом подсвечивания Макаров добился считывания передаваемых по оптоволоконному каналу данных. В связи с этим планируется разработка систем более стойких к взлому.

Научная новизна. Научная новизна предлагаемого проекта заключается в создании первой в России сети квантового распределения информации на базе существующей городской оптоволоконной инфраструктуры. Создаваемая сеть будет построена на приемопередающем оборудовании как Российских производителей (приемопередающая система на основе однофотонного детектора производства компании ЗАО «СКОНТЕЛ»), так и на основе коммерчески доступных зарубежных системах таких произво-

лей, как IDQuantique, MagiQ и Toshiba. При разработке отечественной сети квантовой связи будут внедрены передовые технологические решения в области генерации, передачи и высокоэффективного детектирования одиночных фотонов, а также современные алгоритмические решения в области протоколов передачи информации по линиями квантовой связи и ее обработке. При этом будут проведены исследования реальных характеристик систем в полевых условиях, таких как скорость передачи, уровень ошибок и их устойчивость к взлому.

Библиографический список

1. Elliott, C. Quantum cryptography in practice [Электронный ресурс] / C. Elliott, D. S. Pearson, G. Troxel // Proceedings of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications. URL: <http://arxiv.org/pdf/quant-ph/0307049>.
2. Peev, M. The SECOQC quantum key distribution network in Vienna [Электронный ресурс] / M. Peev, C. Pacher, R. Alle'aume et al. // New J. Phys. 2009. № 11 (7). P. 075001. URL: <http://stacks.iop.org/1367-2630/11/i57/a5075001>.
3. Stucki, D. Long-term performance of the SwissQuantum quantum key distribution network in a field environment [Электронный ресурс] / D. Stucki, M. Legre, F. Buntschu et al. // New J. Phys. 2011. URL: http://www.gap-optic.unige.ch/wiki/_media/publications:bib:stucki2011a.pdf.
4. Sasaki, M. Field test of quantum key distribution / M. Sasaki, M. Fujiwara, H. Ishizuka et al. / Optics Express. 2011. Vol. 19, Issue 11. P. 10387–10409.

Д. Б. Козырев, Е. М. Абакумов

ТИПИЗАЦИЯ 3D-MODEЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ В СООТВЕТСТВИИ С ЦЕЛЯМИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ

Предложена типизация 3D-моделей деталей в соответствии с целями использования моделей. Рассмотрено два типа моделей и три варианта аннотирования, позволяющие использовать модели в различных целях. Цели описаны для каждой комбинации типа модели и варианта аннотирования.

На предприятиях отечественной промышленности при разработке конструкторской и технологической документации активно используются 3D-модели деталей. Они имеют различный характер использования — от вспомогательных объектов до подлинников документации.

3D-модели деталей, создаваемые в параметрических системах автоматизированного проектирования (CAD), можно разделить на два основных типа в зависимости от цели их использования.

Первый тип моделей предназначен для представления геометрической формы деталей, как правило, в номинальных размерах. Такие модели деталей используются для создания моделей сборочных единиц и различных видов на чертежах. Операцией импорта модели деталей передаются в системы автоматизированного моделирования (CAE) и производства (CAM), что позволяет проводить инженерные расчеты и создавать управляющие программы для станков с числовым программным управлением (ЧПУ) и для установок быстрого прототипирования в номинальных размерах.

К первому типу моделей предъявляется единственное требование — это соответствие геометрии модели геометрической форме детали. Последовательность построения модели, использующая формообразующие операции, эскизы операций, размерные схемы, привязки и прочие особенности построения моделей значения не имеют.

Второй тип моделей расширяет возможности использования моделей первого типа. Рассматриваемый тип моделей предоставляет возможность логичного и предсказуемого перестроения модели при изменении значений размеров или конструкции детали. Как следствие, появляется возможность автоматического перестроения модели детали по предельным или средним размерам. Это обеспечивает в САМ разработку управляющих программ для станков с ЧПУ без использования корректоров, учитывающих предельные отклонения размеров детали, и возможность ассоциативной связи модели обработки с моделью детали. Аналогичным образом обеспечивается возможность создания управляющих программ для установок быстрого прототипирования. Геометрия моделей и их размеры с предельными отклонениями используются при создании плана измерения для

координатно-измерительной машины (КИМ). При создании чертежей деталей на видах отображаются размеры, по которым были построены модели. В результате обеспечивается однозначное соответствие размеров и предельных отклонений на чертежах и в моделях.

Модели второго типа должны иметь определенную последовательность построения (дерево построения), соответствующую операции, правильные размерные схемы, размеры с заданными предельными отклонениями и прочее.

Кроме деления моделей деталей на два типа следует выделить варианты аннотирования моделей. Модели первого и второго типов могут выполняться в трех вариантах аннотирования: без аннотаций, с косметическими аннотациями, с функциональными аннотациями. На рисунке представлена схема типов и вариантов аннотирования 3D-моделей деталей.

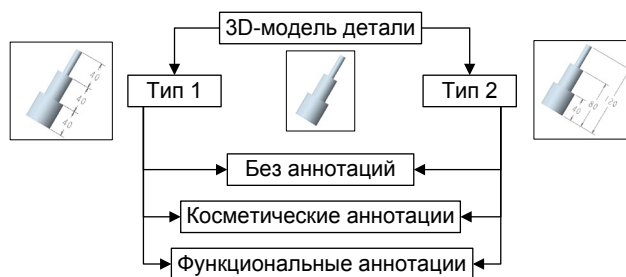


Схема типов и вариантов аннотирования 3D-моделей деталей

Под аннотациями модели понимается информация, создаваемая дополнительно к размерам, созданным в процессе построения модели. Полностью аннотированная модель содержит необходимую и достаточную информацию для изготовления и контроля детали, например: размеры, предельные отклонения размеров, оси, базы, допуски формы и расположения поверхностей, чистоту поверхностей, технические требования и прочее.

Косметические аннотации — это аннотации, ссылающиеся на поверхности или кромки модели, не имеющие влияния на геометрию модели. В случае простановки размеров происходит измерение расстояния между выбранными объектами и передача его значения в проставляемый размер. Размер является измерением, следствием построенной геометрии, чтобы изменить значение размера необходимо пере-

строить модель. Другие аннотации проставляются без учета смысловой нагрузки, имеющейся в аннотациях. Например, на цилиндрическую поверхность можно задать отклонение от плоскостности или задать несколько значений чистоты поверхности для одной поверхности.

Функциональные аннотации — это аннотации, ссылающиеся на поверхности или кромки модели и имеющие «интеллектуальную связь» с моделью. Рассмотрим пример интеллектуальной связи: выбранной плоскости можно задать отклонение от плоскостности, но нельзя задать отклонение от цилиндричности.

Следует обратить внимание, что размеры и их предельные отклонения, используемые при построении модели, не рассматриваются в качестве аннотаций. Такие размеры называются управляющими, они являются неотъемлемой частью модели. Размеры, являющиеся измерениями на модели и называемые управляемыми, рассматриваются в качестве аннотаций модели.

Цели создания моделей первого и второго типа без аннотаций были рассмотрены выше.

Модели первого типа с косметическими аннотациями дополняют цели использования моделей без аннотаций возможностью визуально получать всю информацию непосредственно из модели и передавать информацию в чертежи.

Модели второго типа с косметическими аннотациями предоставляют дополнительные возможности использования по сравнению с моделями без аннотаций, аналогичные моделям первого типа с косметическими аннотациями. Кроме того, чертеж детали становится полностью ассоциативным отображением модели, дополнительная информация в чертеже не создается.

Модели первого типа с функциональными аннотациями дополнительно ко всем перечисленным возможностям моделей данного типа позволяют исключить часть ошибок при аннотировании моделей и чертежей за счет «интеллектуальности» аннотаций.

Модели второго типа с функциональными аннотациями являются наиболее сложными и содержательными, объединяя все ранее перечисленные возможности использования моделей и добавляя новые. Можно полностью создать план измерения для КИМ, используя только модель детали. Использование таких моделей в моделях сборочных единиц позволяет проводить расчеты размерных цепей в специальных системах, не создавая вручную элементы размерной цепи. Наибольший эффект от рассматриваемых моделей достигается в системах сквозного проектирования [1].

В реальном проектировании следует учитывать соотношение трудоемкости создания каждого типа модели и варианта ее аннотирования с потребностями дальнейшего использования модели. Здесь следует учитывать множество аспектов: конструкторских,

технологических, программных и методических, принятых на конкретном предприятии [2].

Если модель создается как электронный конструкторский документ, не требующий использования чертежа, то в соответствии с [3] модель должна быть второго типа и иметь полный набор аннотаций.

В случае совместного использования модели и чертежа тип модели и способ аннотирования определяется дополнительными факторами. При изготовлении детали на оборудовании с ЧПУ желательно иметь модель второго типа, при условии разработки управляющей программы в САМ, имеющей прямой интерфейс к используемой САД. Если деталь будет контролироваться на КИМ и имеется возможность создавать план измерения в системе, имеющей прямой интерфейс к используемой САД, то целесообразно создавать модель второго типа с функциональным аннотированием. Но в тоже время можно создать модель первого типа без аннотирования и тогда всю информацию, отсутствующую в модели, придется брать вручную из чертежа. Аналогичная ситуация складывается при расчете размерных цепей. Можно автоматизировано создать расчетную модель по модели сборочной единицы, собранной из моделей деталей второго типа с функциональным аннотированием, а можно — вручную по модели сборочной единицы, собранной из моделей деталей разного типа с различными вариантами аннотирования. Таких примеров можно привести множество, когда несколько факторов влияют на выбор типа модели.

В [4] рассматривается влияние цели построения модели детали на количество и сложность операций, правильность простановки размеров, использование ссылочной геометрии. В качестве целей были определены время построения модели и качество модели, определяющее возможность ее дальнейшего изменения. В [5] говорится о правилах и методологии использования САД для повышения эффективности. В качестве метрики принимается время моделирования. Общий подход к построению модели зависит от того насколько глубоко конструктор закладывает в нее возможности изменения и повторного использования. Если модель используется только один раз, то и построить ее можно быстрее и проще. Эти рассуждения подтверждают целесообразность создания моделей второго типа, но не отвергают использование моделей первого типа.

В [6] отмечается, что для увеличения эффективности моделирования деталь должна быть проанализирована перед построением модели с разных точек зрения, чтобы сформулировать главную идею, определить структуру модели, последовательность и реализацию операций. Этому подходу соответствуют модели второго типа.

Предложенная типизация 3D-моделей деталей определяет два типа построения моделей и три варианта аннотирования, которые соответствуют ос-

новным целям использования моделей. Выбор типа модели зависит от нескольких факторов. В практической деятельности возможно построение моделей смешанного типа с использованием различных вариантов аннотирования. Следует учитывать, что сэкономленное время при создании более простой модели может быть перекрыто потерями на последующих этапах использования модели.

Библиографический список

1. Ульянин, О. В. Вопросы практической реализации электронного архива технической документации в системах автоматизированного проектирования изделий предприятия приборостроительного профиля / О. В. Ульянин, Н. О. Кожевников, Е. М. Абакумов // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2013) : материалы Седьмой Междунар. конф. М. : ИПУ РАН, 2013. Т. 2. С. 322–333.
2. Козырев, Д. Б. Особенности интеграции системы Creo Parametric 2.0 при внедрении системы управления инженерными данными / Д. Б. Козырев, Е. М. Абакумов, Д. В. Вербов // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM-2013) : тр. 13-й Междунар. конф. / под ред. Е. И. Артамонова. М. : Аналитик, 2013. С. 173–176.
3. ГОСТ 2.051-2013. Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения.
4. Diwakaran, Ram Prasad. Analyzing the effect of alternative goals and model attributes on CAD model creation and alteration / Ram Prasad Diwakaran, Michael D. Johnson // Computer-Aided Design. 012. № 44. P. 343–353.
5. Yannick, Bodein. Explicit reference modeling methodology in parametric CAD system / Bodein Yannick, Rose Bertrand, Caillaud Emmanuel // Computers in Industry. 2014. № 65. P. 136–147.
6. Xiangyang, Jin. Research on the 3D Solid Modeling of High Efficient Gear Tooth Based On Pro/E / Jin Xiangyang, Zhang Tiefeng, Yang Hanlin // Procedia Engineering. 2012. № 29. P. 2990–2994.

А. А. Козько

О СРЕДСТВАХ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ДИСТАНЦИОННОМ ОБРАЗОВАНИИ

Развитие технологий передачи данных привело к увеличению количества пользователей сети Интернет и сделало дистанционное образование доступным для миллионов людей по всему миру. Одной из концепций, появившихся благодаря этому, стала концепция массовых открытых онлайн-курсов (МООК), развитие этой концепции привело к увеличению людей, одновременно обучающихся по дистанционному курсу, что в свою очередь выявило множество проблем в современных информационных средствах организации взаимодействия между учащимися.

Рассматриваются тенденции дистанционного образования, а также существующие проблемы и перспективы средств организации и поддержки информационного взаимодействия субъектов дистанционного образования, связанные с развитием сети Интернет и увеличением количества обучающихся в дистанционных курсах.

Введение. Развитие информационных технологий с каждым годом увеличивает интерес к дистанционному образованию и заставляет пересмотреть традиционные подходы в обучении. Вместе с тем, развитие информационных средств вовлекает в процесс дистанционного образования все большее количество студентов по всему миру. В таких условиях существующие сегодня средства поддержки информационного взаимодействия показывают все меньшую эффективность.

Концепция массовых открытых онлайн-курсов. Вместе с развитием возможностей Интернета, применительно к учебному процессу, педагоги стали искать новые формы обучения, которые бы отвечали идеям глобальной сети: свобода, массовость, открытость, коллективное развитие идей и т. п. Одной из таких идей стала теория коннективизма, благодаря которой, в свою очередь, сформировалась новая концепция публикации учебных материалов для удаленного доступа в виде массовых открытых онлайн-курсов (Massive Open Online Course, MOOC) [1].

Сам термин «массовый открытый онлайн курс» был предложен исследователями Брайаном Александром и Дэйвом Кормье в результате работы над курсом «Connectivism & Connective knowledge», который в 2008 г. проводили Джордж Сименс и Стивен Доунс [2].

На данный момент МООС представляет собой значимую общемировую тенденцию в сфере высшего и дистанционного образования, интерес к которой с каждым годом только увеличивается. В [3] отмечается, что концепция МООС может претендовать на особый статус в инновационной педагогике, благодаря нововведениям, которые привносятся в образование вместе с ней: мобильному обучению (mobile learning) и аналитике обучения (learning analytics).

В то же время МООС многими рассматриваются как угроза традиционному высшему образованию [4] и даже как угрозу всей системе образования России. Отмечается, что все иные варианты, кроме развития отечественных платформ дистанционного образова-

ния и массовых открытых онлайн курсов, приведут к деградации образовательной системы, стагнации интеллектуального потенциала страны, к потере каких-либо конкурентных преимуществ России на международной арене, что сделает практически невозможной дальнейшую модернизацию страны [5].

Обсуждению, анализу, опыту использования МООС посвящено большое количество исследований. В статье [6] приведен обзор зарубежных публикаций на эту тему за период с 2008 по 2012 г. Рассмотрению концепции МООС как основе новой формы обучения посвящена работа [7]. Анализ подходов, используемых современными платформами МООС рассмотрен в работе [8].

Благодаря применению идей теории коннективизма, открытое образование вышло на новый уровень [9]. Эта теория впервые представлена в работах Джорджа Сименса (George Siemens) [10] и Стефана Доунса (Stephen Downes) [11] в 2005 г., и была охарактеризована как «теория обучения в цифровой век» [12]. Ключевой тезис коннективизма — знание распределено по сетям связей (network of connections), а образование заключается в возможности конструировать эти связи и проходить по ним. Это предполагает модель обучения, в которой, в первую очередь, делается упор на попытках описания «успешных» сетей, характеризующихся разнообразием, автономностью, открытостью и наличием связей (connectivity). С другой стороны, вторым важным аспектом обучения является описание практик, ведущих к таким сетям — моделирование и демонстрация со стороны учителя и практика с рефлексией со стороны ученика.

Одним из основных способов взаимодействия или установления связей с другими участниками в дистанционном образовании является создание и обмен «артефактами понимания». Артефакты — это ресурсы, которые создают сами участники: посты в блогах, вики-страницы, диаграммы, ментальные карты, конспекты, подкасты или видео. Эти артефакты отражают попытки участников осмыслить курс

с их личной позиции, точки зрения. Внутри открытых онлайн курсов образуются подсети из участников с различным уровнем знаний. Подсети перекрываются между собой, новички движутся в подсети экспертов, и это движение играет важную роль в таких курсах. Благодаря практике производства и обмена «артефактами понимания», каждый участник играет одновременно и роль учащегося, и роль учителя [2].

Таким образом, успешность учебной деятельности достигается при взаимодействии студента с другими обучающимися, а современные информационные коммуникативные средства позволяют организовать это взаимодействие дистанционно через Интернет и формировать разнообразные учебные сообщества для обсуждения текущих вопросов в процессе обучения [13].

Современные средства организации информационного взаимодействия и проблемы их применения. Как описано ранее, МООС свойственна гораздо большая массовость, из-за чего проблемы в существующих средствах организации информационного взаимодействия проявляются особенно ярко.

В данный момент для организации информационного взаимодействия и совместной работы учащихся в рамках дистанционных образовательных курсов применяются разнообразные интерактивные средства обучения: групповые онлайн обсуждения и форумы, совместная работа на основе Wiki, ведение учащимися блогов, онлайн лаборатории, тестовое оценивание уровня освоения материала.

Наиболее популярными из них по-прежнему являются групповые онлайн обсуждения и форумы, поэтому далее будут рассматриваться именно они.

С увеличением числа учащихся указанные средства показывают все меньшую эффективность. Так, десятки и даже сотни тысяч человек, записанных на курс, общаясь дистанционно с использованием традиционных форумов генерируют огромный поток тем и сообщений, в котором невозможно быстро ориентироваться, используя инструменты, предлагаемые современными средствами информационного взаимодействия (а в работе [14] и вовсе заявляется о невозможности осмысленного общения при таком количестве участников). Из-за чего снижается эффективность коммуникации между студентами и, как следствие, страдает эффективность всего учебного процесса.

О проблеме низкой эффективности общения с использованием существующих средств говорят такие факты, как большое количество дублирующих друг друга обсуждений и малое число обсуждений, которые получают хоть какое-то развитие — большинство открытых пользователями дискуссий так и остаются из одного заглавного поста и не находят отклика от других участников. При этом указанные проблемы сами по себе создают еще больший «информационный шум» на форуме и усложняют общение между

субъектами учебного процесса — у студентов теряется мотивация пользоваться форумом, у преподавателя курса возникают сложности с взаимодействием со студентами.

Еще одной характерной проблемой, которую в [14; 15] и других работах выделяют в первую очередь, является неспособность онлайн форумов избавить МООС и дистанционное образование от главного недостатка — отсутствия прямого общения с преподавателем, из-за чего студенты могут испытывать сложности с освоением материала, а преподаватели отмечают, что из-за невозможности непосредственно общаться со студентами они не могут оценить, как те усваивают материал, что им понятно, а что нет [15]. Отметим, что невозможность эффективной обратной связи для преподавателя непосредственно вытекает из количества слушателей курса и отсутствия автоматических аналитических средств управления и поддержки подобного информационного взаимодействия.

Таким образом, в условиях огромного количества слушателей, записавшихся на курс (десятки и сотни тысяч), особые требования должны предъявляться к инструментам организации и поддержания такого онлайн-взаимодействия.

Рассмотрим наиболее популярные и востребованные пользователями провайдеры МООС:

- Udacity (<http://udacity.com>, более 1,6 млн пользователей по состоянию на январь 2014 г.);
- EdX (<http://edx.com>, более 2,5 млн на июль 2014 г.);
- Coursera (<http://coursera.com>, более 7,1 млн зарегистрированных пользователей по состоянию на апрель 2014 г.).

На всех трех этих платформах форумные дискуссии остаются на данный момент основным или даже единственным средством информационного взаимодействия между участниками. Рассмотрим предлагаемые ими инструменты и функциональность, при этом за границами рассмотрения остаются использование сторонних средств и инструментов самоорганизующимися группами студентов, во-первых, из-за немногочисленности таких групп, а во-вторых, из-за присутствия в этих группах, как правило, только учащихся, не включая преподавателей или авторов курса.

Первые две платформы предлагают коммуникацию в вопрос-ответном стиле. Так, EdX для организации общения использует платформу Stack Exchange Network, созданную специально для организации работы с вопросами и ответами на них. Udacity использует собственную разработку, с аналогичными возможностями.

Отдельно можно выделить Coursera, которая предлагает своим пользователям наиболее развитые средства онлайн-общения, которые позволяют взаимодействовать не только в рамках сценария «вопрос-ответ», но и в виде полноценных обсуждений и дискуссий.

В остальном все три платформы предоставляют пользователям аналогичные инструменты для поддержания коммуникации: поиск, категории, теги, статусы, организация дискуссий в виде древовидной структуры и др. Из нетехнических средств можно выделить активную работу модераторов. Все эти средства и способы давно используются при организации общения в сети Интернет, но при этом обладают рядом недостатков применительно к МООС и дистанционному образованию.

У перечисленных выше инструментов можно выделить такие недостатки, как зависимость актуальности и правильности тегов, статусов, разделов форума от пользователей или модераторов, которые не всегда могут отследить изменения на форуме. Из-за этого эти атрибуты форумных дискуссий часто оказываются выставлены неверно, что снижает общую эффективность использования форума как средства информационного взаимодействия. Еще одним недостатком является так же то, что поиск по форуму не учитывает ни структуры форума, ни особенностей конкретного курса, ни уровень подготовленности и прогресс в освоении курса каждого конкретного пользователя.

Из-за этих недостатков форум как средство коммуникации при дистанционном взаимодействии не показывает должную эффективность, в результате чего страдает успешность обучения, а преподавателю не удается получить от учащихся актуальную и полную обратную связь о качестве курса.

Перспективы средств организации информационного взаимодействия. Возможным решением указанных выше недостатков может стать разработка интеллектуальных средств анализа данных для управления информационным взаимодействием субъектов дистанционного учебного процесса. При разработке подобных средств необходимо решить ряд задач, главной из которых, на наш взгляд, является задача выделения отдельных диалогов из форумных тем.

Использование для анализа отдельных сообщений осложняется тем, что сообщение, как правило, очень короткое и имеет смысл только вместе с контекстом из соседних сообщений, а анализ всех сообщений из темы целиком малоэффективен по причине наличия внутри одной темы как различных «подтем». Дело в том, что пользователям часто тяжело удержать дискуссию строго в рамках одной темы, поэтому внутри темы возникают отдельные «подтемы» или диалоги, которые могут не относиться непосредственно к самой теме обсуждения. Кроме того, периодически встречаются отдельные сообщения, которые никак не связаны с темой обсуждения, так и сообщения принято называть *offtopic*.

Таким образом, для эффективного интеллектуального анализа интернет-форумов по дистанционным образовательным курсам необходимо разработать

модель, которая позволит выделять диалоги и обсуждения внутри тем. Для подобного необходимо учитывать связи между сообщениями, которые задаются структурой форума, а также связи, которые задаются семантикой отдельных сообщений. В качестве основы подобной модели предлагается использовать структурно-семантическую модель форумных дискуссий [16].

Используя для анализа диалоги и обсуждения вместо отдельных сообщений или целых тем, можно, по нашему мнению, значительно повысить релевантность поиска.

Кроме того, использование интеллектуальных средств анализа данных применительно к форуму по дистанционным учебным курсам может быть применен для получения неявных оценок обратной связи о курсе, для уточнения моделей обучаемого и помощи при построении индивидуальных образовательных траекторий, для увеличения точности оценки самостоятельной работы студента.

Заключение. Таким образом, совершенствование сети Интернет и связанное с этим развитие новых образовательных концепций привело к увеличению роли дистанционного образования и росту числа людей, обучающихся дистанционно. При этом существующие средства организации информационного взаимодействия имеют ряд недостатков, что влечет за собой снижение эффективности как самого взаимодействия между субъектами обучения, так и снижение эффективности всего учебного процесса. Возможным выходом из сложившейся ситуации является улучшение средств коммуникации путем применения интеллектуальных методов анализа данных. Применение средств интеллектуального анализа данных для организации информационного взаимодействия при дистанционном обучении может, во-первых, значительно повысить эффективность коммуникации между субъектами образовательного процесса, и, как следствие, повысить результативность всего обучения, а во-вторых, дать преподавателям дополнительную информацию, полезную как для оценки студента, так и для модификации и усовершенствования курса.

Библиографический список

1. Sandeen, C. Assessment's Place in the New MOOC World / C. Sandeen // *Research & Practice in Assessment*. 2013. Vol. 8. P. 5–12.
2. Бугайчук, К. Л. Массовые открытые дистанционные курсы: история, типология, перспективы / К. Л. Бугайчук // *Высш. образование в России*. 2013. № 3. С. 148–155.
3. Sharples, M. *Innovating Pedagogy 2013: Open University Innovation Report 2* / M. Sharples, P. McAndrew, M. Weller. Milton Keynes : The Open University, 2013.
4. Колесников, С. И. Массовые открытые онлайн-курсы — вызов традиционному высшему образованию / С. И. Колесников, Л. М. Долженко

- // Современные технологии профессионального образования: проблемы и перспективы : материалы науч.-метод. конф. с междунар. участием. Екатеринбург : УГЛТУ, 2014. С. 13–16.
5. Смолин, О. Н. Высшее образование накануне потрясений: заочный диалог с министром / О. Н. Смолин // Ректор вуза. 2013 № 10. С. 8–22.
 6. Liyanagunawardena, T. R. MOOCs: A Systematic Study of the Published Literature 2008–2012 / T. R. Liyanagunawardena, A. A. Adams, S. A. Williams // The International Review of Research in Open and Distance Learning. 2013. Vol. 14. P. 202–227.
 7. Костюк, Ю. Л. Массовые открытые онлайн курсы — современная концепция в образовании и обучении / Ю. Л. Костюк, И. С. Левин, А. Л. Фукс // Вестн. ТГУ. Управление, вычислительная техника и информатика. 2014. № 26. С. 89–98.
 8. Колесников, С. И. Подходы и технология обучения МООС / С. И. Колесников, Л. М. Долженко // Высш. образование в России. 2013. № 3. С. 16–20.
 9. Siemens, G. Knowing Knowledge [Электронный ресурс] / G. Siemens. URL: http://www.elearnspace.org/KnowingKnowledge_LowRes.pdf.
 10. Siemens, G. Connectivism: Learning as Network Creation [Электронный ресурс] / G. Siemens. URL: <http://www.elearnspace.org/Articles/networks.htm>.
 11. Downes, S. An introduction to connective knowledge [Электронный ресурс] / S. Downes. URL: <http://online.upaer.mx/campusTest/ebooks/CONNECTIVE-KNOWLEDGE.pdf>.
 12. Siemens, G. Connectivism: A learning theory for the digital age / G. Siemens // International journal of instructional technology and distance learning. 2005. Vol. 2, Issue 1. P. 3–10.
 13. Siemens, G. Connectivism: Design and Delivery of Social Networked Learning / G. Siemens // The International Review of Research in Open and Distance Learning. 2011. Vol. 12. P. 3–11.
 14. Stepanova, R. MOOC Massive open online course / R. Stepanova, P. Stepanov // Проблемы современного образования в условиях глобализации. 2014. № 2. С. 92–98.
 15. Гореткина, Е. Дистанционное образование: новые подходы — новые проблемы / Е. Гореткина // Библиодосье к парламентским слушаниям на тему «Нормативное обеспечение реализации образовательных программ с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий». М., 2014. С. 17–20.
 16. Lin, C. Modeling semantics and structure of discussion threads [Электронный ресурс] / C. Lin et al. URL: http://research.microsoft.com/en-us/people/xjwang/www_2009_smss.pdf.

РАСШИРЕНИЕ СРЕДЫ АДАПТИВНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ФОРУМА С ПОМОЩЬЮ ПОИСКОВЫХ СИСТЕМ

Рассматриваются вопросы организации взаимодействия между субъектами дистанционного учебного процесса с помощью форумов и систем комментариев. Рассмотрены существующие средства, их структура и недостатки. Предложена модель адаптивных образовательных форумов. На примере использования поисковых систем описан принцип расширения адаптивных форумов с помощью информации из других источников, а также представлена архитектура такого решения.

Введение. Развитие информационных технологий делает дистанционное образование все более доступным для людей, а технологии управления и поддержки учебного процесса все более важными. Множество работ посвящено рассмотрению LMS (Learning Management System), например, работы [1–3], обзору существующих решений посвящены работы [4; 5]. Однако в этих работах инструменты управления учебным процессом рассматриваются в основном со стороны разработки, управления и распространения учебных материалов и курсов, не уделяя при этом должного внимания вопросам коммуникации и информационного взаимодействия между различными субъектами учебного процесса.

При этом современные образовательные теории, такие как теория коннективизма, предложенная George Siemens и Stephen Downes, указывают в качестве основных условий для успешной учебной деятельности не только общение с преподавателем, но и взаимодействие между учениками, а также обмен между ними так называемыми «артефактами понимания (sensemaking artifacts)» [6]. Под артефактами понимания понимаются записи в блогах, конспекты, подкасты, вики-страницы и другие учебные материалы, которые создаются самими студентами с целью их обсуждения с другими учащимися. В работе [7] анализируется такой подход и заявляется о его большей эффективности в сравнении с традиционными.

Концепция MOOC (Massive open online courses), набирающая все большую популярность, делает такой подход еще более важным из-за огромного количества человек (сотни тысяч), записанных на курс, что делает взаимодействие с преподавателем невозможным. Кроме того, подобное количество участников значительно усложняет их взаимодействие с использованием традиционных средств, таких как, например, форумы.

Таким образом, тема организации информационного взаимодействия между субъектами дистанционного учебного процесса является на сегодняшний день крайне актуальной, но недостаточно рассмотренной в существующих работах.

Средства онлайн-взаимодействия субъектов учебного процесса. Решение вопроса организации информационного взаимодействия в рамках учебного курса является во многом задачей для преподавателя

или организации, проводящей обучение. Для этой цели могут использоваться форумы, блог-платформы, социальные сети, системы вопросов и ответов, wiki-платформы и другие средства. Другая возможность — использование LMS, каждая из которых позволяет в том или ином виде выстроить взаимодействие студентов между собой и между студентом и преподавателем.

Такие LMS, как Moodle, ILIAS, Sakai предлагают использовать для коммуникации в рамках учебного курса форумы, блоги, личные сообщения, чаты, кроме того разрешается комментирование различных учебных материалов. С другой стороны, платформы организации MOOC, такие как Stepic, Udemy, Coursera, EdX, Udacity, Универсариум и Интуит используют для этого форумы, блоги, системы вопросов и ответов (наподобии StackExchange), вики-страницы, комментирование учебных материалов, в некоторых курсах авторами предлагается использовать вместо внутренних механизмов платформы сторонние сайты, такие как Reddit, StackExchange или социальные сети.

Исходя из этого рассмотрения, основными средствами, которые используются для коммуникации в рамках учебного курса, вне зависимости от специфики и типа курса, являются стандартные форумы, блоги, системы вопросов и ответов, а также различные системы комментирования записей. При этом такие средства не учитывают специфики учебного процесса и не предоставляют каких-либо аналитических функций, применимых к организации обучения.

Характеристика средств информационного взаимодействия.

Форум, в общем случае, — это средство для организации общения посетителей веб-сайта. Суть работы форума заключается в создании пользователями (в случае образовательных ресурсов — студентами) своих тем с их последующим обсуждением. Пользователи могут комментировать заявленную тему, задавать вопросы по ней и получать ответы, а также сами отвечать на вопросы других пользователей форума и давать им советы. Таким образом, отдельно взятая тема, по сути, представляет собой начальную запись с набором комментариев к ней. Темы, как правило, структурированы по различным разделам форума.

Для веб-форумов характерно объединение тем одной тематики в соответствующие разделы, создаваемые модераторами и администраторами, которые в дальнейшем следят за правильностью распределения тем. Таким образом, самая распространенная иерархия веб-форума: Разделы → Темы → Сообщения.

Блоги. Представляют собой набор авторских записей, упорядоченных по времени добавления, как правило, от самых новых к старым. Для блогов характерна возможность публикации отзывов (комментариев) другими пользователями, именно она и делает блоги средством информационного взаимодействия. Технически каждая запись в блоге, также как и тема на форуме, представляет собой начальную запись с набором комментариев к ней. Разница между форумами и блогами в содержательной части: если запись в блоге — это в первую очередь высказывание собственной мысли автора, пусть и с комментариями к ней, то запись на форуме — это начало для дискуссии внутри сообщества.

Для блог-платформ характерно разделение записей по авторам, а уже для записей автора используется хронологический порядок отображения записей. У каждой записи есть комментарии. Таким образом, структура блогов сводится к структуре подобной форумной, но с другой терминологией: Авторы → Записи → Комментарии.

Системы вопросов и ответов — это вид средств онлайн-взаимодействия, позволяющий пользователям задавать вопросы и отвечать на уже заданные. Обычно пользователи могут также голосовать за ответы, выделяя, по их мнению, правильный. Таким образом каждый вопрос представляет собой начальную запись, а предложенные ответы — комментарии, структурированные не по дате, как в случае форумов и блогов, а по количеству голосов, означающих оценку полезности данного варианта ответа.

Для сервисов вопросов и ответов структурирование обычно происходит по тематическим разделам, заданным администраторами, в которых все вопросы упорядочиваются по дате, а ответы на вопрос упорядочиваются по количеству голосов. Обычная иерархия выглядит так: Разделы → Вопросы → Ответы.

Системы комментариев — используются дополнительно на платформах дистанционного образования для организации обсуждений каких-либо материалов курса, например, видео-лекции или презентации. Структурирование таких материалов зависит от структуры курса и выполняется преподавателем.

Структура комментариев. Структурирование комментариев к записям также может отличаться в зависимости от реализации. Можно выделить 3 основных вида структурирования.

1. Древовидные комментарии — список комментариев в теме представлен иерархически в виде дерева, при этом каждое новое сообщение, помещенное сразу за старым (цитирование его при этом необязательно),

может начать свою ветвь обсуждения. Плюсы этой разновидности форумов в том, что можно очень четко проследить, кто с кем общается, кто кому задал вопрос или на него ответил. Одновременно такая структура сообщений позволяет участнику форума просто проигнорировать неинтересную ему ветку. Минусы заключается в том, что возрастает риск пропустить важное сообщение, в случае если пользователь решил проигнорировать ветку, не ожидая там ничего интересного для себя.

2. Линейные (плоские) комментарии — комментарии в рамках одной темы публикуются друг под другом, по мере поступления; новые сообщения помещаются последними (обычно внизу); диалоговая связь между двумя комментариями формируется на основе специальным образом оформленных цитат, обращений к автору и других средств.

3. Гибридные комментарии — представляют собой нечто среднее между древовидной и линейной структурой. На данный момент — самая популярная форма представления комментариев. Комментарии непосредственно к исходной записи оформляются в виде дерева, а комментарии к комментариям добавляются в линейном виде.

В некоторых платформах комментариев пользователю можно выбирать вид представления комментариев самому, в этом случае можно говорить, о древовидном структурировании, с возможностью линейного отображения.

Все три вида структурирования комментариев наглядно представлены на рис. 1.

Комментарии обычно упорядочены в хронологическом порядке, или по популярности и количеству полученных голосов (в случае древовидных комментариев — упорядочивается по комментарию самого верхнего уровня).

Каждый комментарий, кроме текста, имеет следующие атрибуты: автор, дата и время.

Структура и навигация. Общую структуру всех перечисленных выше средств можно обобщить до древовидной структуры, представленной на рис. 2, где Root — корневая страница системы, содержащая Section; Section — содержит упорядоченный список Topic; Topic — содержит Original Post (OP) и комментарии к нему, при этом OP может быть как текстовым (для блогов, форумов, вопросов), так и иного вида (для учебных материалов).

Для навигации по записям используются системы поиска по меткам (тегам), фильтрация по статусам записей, поиск по записям и комментариям.

Технология адаптивных учебных форумов. Как отмечалось ранее, перечисленные средства онлайн-коммуникации не учитывают специфику учебного процесса и не предоставляют для этого каких-либо специфических функций. Кроме того, они не рассчитаны на количество участников, которое свойственно, например, МООС, что сильно снижает их эффективность. Об этом можно судить по большому

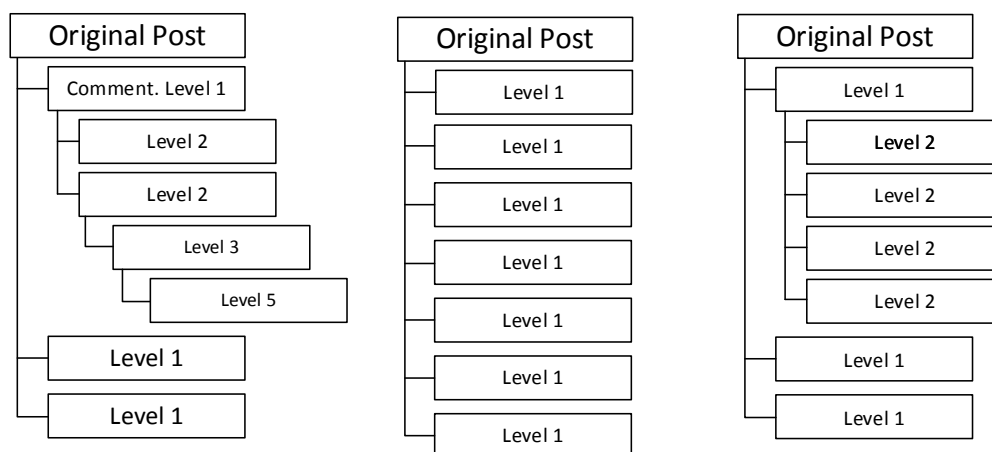


Рис. 1 Условные схемы отображения древовидных, линейных и гибридных структур комментариев (слева направо)

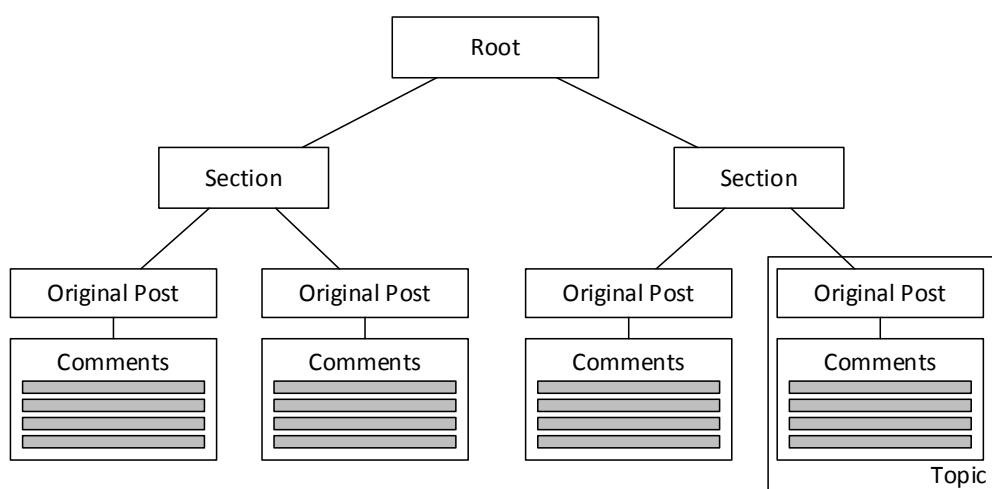


Рис. 2 Обобщенная структура систем взаимодействия в дистанционном образовательном процессе

количеству дублирующих друг друга тем, вопросов без ответа, неправильно выставленным статусам и тегам, из-за чего страдает эффективность форума, как средства коммуникации, а значит страдает и эффективность учебного процесса.

Для повышения эффективности применения форума как инструмента информационного онлайн-взаимодействия в рамках учебного процесса предлагается разработка технологии адаптивных учебных форумов на основе интеллектуального анализа данных.

Под адаптивным образовательным форумом понимается интернет-форум, структура которого перестраивается в зависимости образовательной траектории учащегося, его информационных потребностей, особенностей курса и активности пользователей. Для преподавателя анализ информации с образовательного форума может являться источником данных для получения неявной обратной связи о качестве курса, проблемах студента с освоением учебного материала, оценки активности студента и т. д. Таким образом, технология адаптивных образовательных форумов может стать способом увеличения качества дистанционного обучения.

Расширение среды адаптивного образовательного форума. Адаптивный образовательный форум дол-

жен выполнять функцию не только среды коммуникации, но и стать своеобразным источником знаний, для чего предлагается не ограничиваться информацией, содержащейся непосредственно на форуме и применять для этого различные сторонние источники. Одними из возможных источников являются поисковые системы.

Использование этих источников позволит расширить контекст дискуссии на форуме и дополнить ее ссылками на страницы со сторонних сайтов, которые содержат информацию релевантную теме обсуждения. Такой подход к агрегации информации и концентрированию ее вокруг обсуждаемых в рамках учебного форума, тем вместе с использованием средств интеллектуального анализа форума, превращает форум из средства коммуникации в образовательную среду.

На рис. 3 представлен макет интерфейса адаптивного форума.

Использование поисковых систем. Для дополнения форумной темы страницами из поисковых систем требуется решить ряд задач, таких как автоматическая генерация поисковых запросов и дополнительное семантическое сравнение полученных страниц с форумным диалогом, для ранжирования полученных результатов.

В простейшем случае вместо генерирования поисковых запросов предлагается использовать извлече-

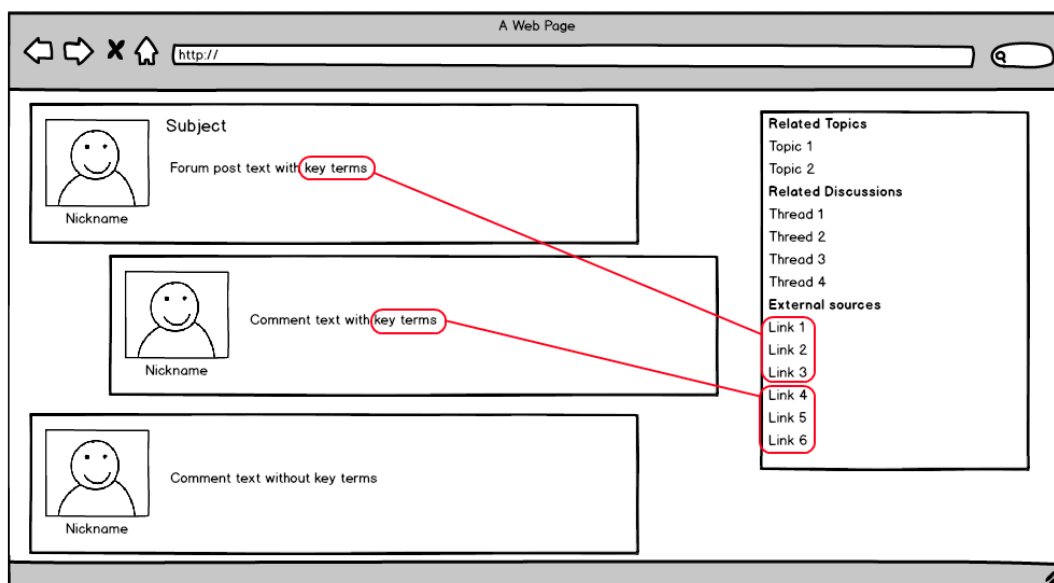


Рис. 3 Макет интерфейса адаптивного форума

ние ключевых слов из сообщений и диалогов, чтобы далее использовать полученные ключевые слова непосредственно как поисковой запрос.

Так как по нескольким комментариям, объединенным в одну тематическую дискуссию, может быть сгенерировано несколько поисковых запросов, каждый из которых вернет ранжированный список результатов, то в итоге для каждой дискуссии будет получен набор документов из сторонних источников, который надо ранжировать в соответствии с тем, насколько его содержание семантически близко с содержанием все дискуссии.

Приведем алгоритм решения, записанный с использованием псевдокода:

```
var keywords = ExtractKeywords(messages);
var searchResults = new List();
foreach (var keyword in keywords)
{
    var webSearchResults = WebSearch(keyword);
    foreach (var searchResult in webSearchResults)
    {
        var webPageContent = ExtractContent(searchResult);
        var similarity = Similarity(webPageContent,
        messages);

        searchResults.Add(new { searchResult,
        webPageContent, similarity });
    }
}

return searchResults
    .FilterBy(similarity > threshold) //Фильтрация результатов по мин. близости
    .SortBy(similarity);
```

Семантическая близость дискуссии и документа. Для решения задачи ранжирования необходимо определить семантическую близость. В первую очередь стоит отметить специфику форумных сообщений — в основном все сообщения в комментариях предельно короткие (от нескольких слов, до 2–3 предложений), поэтому предлагается определять близость документа и дискуссии по близости содержащихся в них концептов.

Существующие метрики оценки семантической близости можно разделить на несколько классов. В работе [8] предлагается следующая классификация:

- меры, основанные на корпусах текстов (LSA), а также на веб-корпусах (NGD и PMIIR);
- меры, основанные на онтологиях (Wu-Palmer, Leacock-Chodorow, Resnik, Lin и др.);
- меры, основанные на определениях (ExtendedLesk, GlossVectors);

Еще одна группа метрик, которую можно выделить, — метрики, основанные на Википедии: Wikipedia Link-based Measure (WLM), Explicit Semantic Analysis (ESA), WikiWalk, WikiRelate! и др.

Выбирая метрику расчета семантической близости концептов, необходимо обратить внимание уже на специфику учебных курсов. Тематика учебных курсов может выходить за рамки онтологий, а в предметной области, раскрываемой курсом, содержаться специфичные понятия, которые могут быть не отражены в широко известных онтологиях вроде WordNet. Таким образом, меры близости, использующие онтологии, могут применяться для анализа учебных форумов только в том случае, если преподаватель будет задавать онтологию курса самостоятельно.

Исходя из этих соображений, предполагается использовать метрики, основанные на интернет-энциклопедии «Википедия». К плюсам использования Википедии как источника данных можно отнести ее объемы и широкий охват различных тематик, актуальность и частичную структурированность.

Архитектура системы. Все действия реализуются отдельными, изолированными и слабосвязанными между собой модулями, что позволяет, при необходимости, заменять их и горизонтально масштабировать систему для увеличения ее производительности.

Перенаправление запросов от пользователя в подсистему адаптивного форума (объект Router на рис. 5) может осуществляться как на стороне браузера

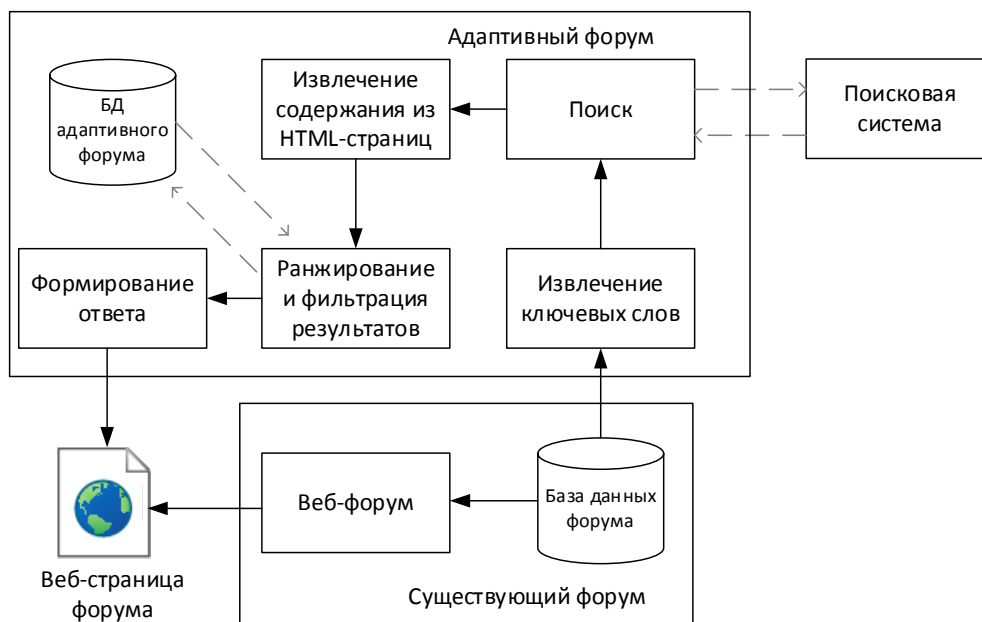


Рис. 4. Предлагаемая архитектура системы расширения форумной среды

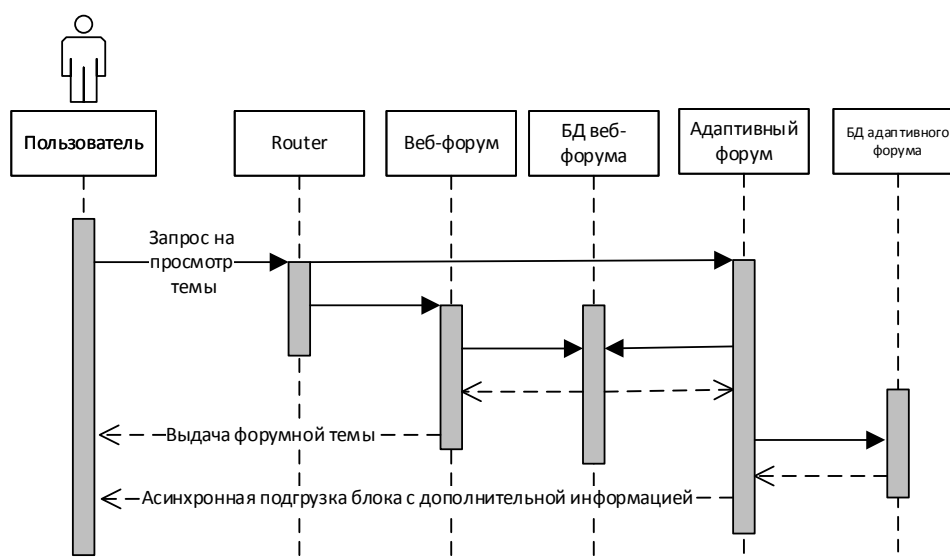


Рис. 5. UML диаграмма последовательности

(JS-скрипты), так и на стороне сервера, в зависимости от архитектуры и особенностей основного форума, к которому выполняется подключение.

Вся необходимая для работы адаптивного форума информация, такая как профили студентов вместе с их образовательными траекториями, результаты анализа комментариев, выявленные связи между дискуссиями, хранятся в собственной отдельной БД.

В результате предложенная архитектура позволяет реализовывать надстройки и подключать их к уже существующим форумам без необходимости внесения в них серьезных изменений, а также без изменения структуры или данных в БД веб-форума.

На рис. 4 и рис. 5 представлены, соответственно, предлагаемая архитектура системы расширения форумной среды с помощью поисковых систем и диаграмма последовательности UML.

Близкие работы. Тема анализа форумов не слишком широко освещена в научных работах, тем не менее можно выделить следующие исследования.

Работа [9] посвящена исследованию групп Usenet. В ней предлагается метод измерения схожести различных групп по активности в них участников, а также вводится мера для оценки принадлежности записи конкретной группе, что позволяет исключать из анализа кросс-посты.

В работе [10] предлагается модель для оценки вероятности участия или не участия пользователя в определенной онлайн-дискуссии, основываясь на активности его друзей и его интересах. При этом список друзей и интересов пользователя составляется по его предыдущей активности в других темах.

В работе [11] предлагается подход для извлечения контекста сообщений, а также вопросов и ответов из

темы с использованием метода SVM. В [12] рассматриваются также другие методы используемые для этой цели.

Исследование [13] посвящено использованию сенсительного анализа. Для анализа сообщений на форумах предлагается метод поиска «горячих точек» (hotspot) на форуме и способы их прогнозирования.

Наконец, в работе [14] авторы предлагают подход, совмещающий одновременно анализ структурных и семантических особенностей сообщений для поиска дискуссий и нахождения ключевых сообщений в теме.

Касательно применения онлайн-форумов в учебных целях можно рассмотреть работы [15] и [16], которые посвящены оценке активности студентов на форуме, по различным параметрам.

Вывод. В связи с тем, что благодаря Интернету дистанционное образование стало доступным для миллионов людей по всему миру, все более важной становится роль средств поддержки коммуникации в рамках учебного процесса. Возросшее количество студентов, записывающихся на курсы, и увеличение доли дистанционного образования предъявляет новые требования, которым существующие средства взаимодействия уже не отвечают, что снижает эффективность образовательного процесса в целом.

Нами предлагается концепция и модель адаптивных образовательных форумов, использование которых, по нашему мнению, приведет к увеличению эффективности взаимодействия между студентами, а также повысит роль среды коммуникации в дистанционном образовательном процессе и даст преподавателям возможность автоматического сбора информации как о студентах, так и о качестве курса.

Кроме того, такой адаптивный форум поддается расширению. Пример возможности расширения среды форума с использованием поисковых систем описан нами в этой работе. Кроме того, предложена архитектура такого решения.

Мы рассчитываем, что возможность расширения форума сторонними источниками сделает адаптивные образовательные форумы не только средой коммуникации, но и источником знаний.

Библиографический список

1. Dalsgaard, C. Social software: E-learning beyond learning management systems [Электронный ресурс] / C. Dalsgaard // European J. of Open, Distance and E-Learning. 2006. № 2. URL: http://www.eurodl.org/materials/contrib/2006/Christian_Dalsgaard.htm.
2. Sclater, N. Web 2.0, personal learning environments, and the future of learning management systems [Электронный ресурс] / N. Sclater // Research Bulletin. 2008. № 13. URL: <https://net.educause.edu/ir/library/pdf/ERB0813.pdf>
3. Coates, H. A critical examination of the effects of learning management systems on university teaching and learning / H. Coates // Tertiary education and management. 2005. Vol. 11. P. 19–36.
4. Ketcham, G. Youngs-Maher P. Learning Management Systems Review [Электронный ресурс] / G. Ketcham, K. Landa, K. Brown at el. URL: http://openscholar.purchase.edu/sites/default/files/keith_landa/files/doodle_lmsreport_final.pdf.
5. Siemens, G. Learning or Management Systems? A Review of Learning Management System Reviews / G. Siemens. Manitoba, Canada : Learning Technologies Centre, 2006.
6. Siemens, G. Connectivism: Design and Delivery of Social Networked Learning / G. Siemens // The International Review of Research in Open and Distance Learning. 2011. Vol. 12. P. 3–11.
7. Mott, J. Open for Learning: The CMS and the Open Learning Network [Электронный ресурс] / J. Mott, D. Wiley. URL: <http://ineducation.ca/ineducation/article/view/53/529>.
8. Panchenko, A. Similarity Measures for Semantic Relation Extraction [Электронный ресурс] / A. Panchenko. URL: <http://cental.fltr.ucl.ac.be/team/~panchenko/thesis.pdf>.
9. McGlohon, M. Community Structure and Information Flow in Usenet: Improving Analysis with a Thread Ownership Model [Электронный ресурс] / H. McGlohon, M. Hurst. URL: <http://www.cs.cmu.edu/~mmcgloho/pubs/icwsm09.pdf>.
10. Wu, H. Modeling Dynamic Multi-Topic Discussions in Online Forums [Электронный ресурс] / H. Wu at el. URL: http://www-scf.usc.edu/~hwu732/paper/AAAI10_Wu.pdf.
11. Cao, Y. A structural support vector method for extracting contexts and answers of questions from online forums / Y. Cao at el. // Information Processing & Management. 2011. Vol. 47 (6). P. 886–898.
12. Cong, G. Finding question-answer pairs from online forums / G. Cong, L. Wang, C. Y. Lin at el. // In Proceedings of the 31st annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, 2008. P. 467–474.
13. Li, N. Using text mining and sentiment analysis for online forums hotspot detection and forecast / N. Li, D. D. Wu // Decision Support Systems. 2010. Vol. 48 (2). P. 354–368.
14. Lin, C. Simultaneously modeling semantics and structure of threaded discussions: a sparse coding approach and its applications / C. Lin, J. M. Yang, R. Cai at el. // Proceedings of the 32nd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, 2009. P. 131–138.
15. Dringus, L. P. Using data mining as a strategy for assessing asynchronous discussion forums / L. P. Dringus, T. Ellis // Computers & Education. 2005. Vol. 45 (1). P. 141–160.
16. Chin, W. M. An analysis of an assessment model for participation in online forums / W. M. Chin, A. Abrizah // Computer Science and Information Systems. 2011. Vol. 8 (1), P. 121–140.

Л. В. Массель, А. Г. Массель

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Результаты, представленные в статье, получены при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ № 13-07-00140, № 14-07-01284, №15-37-20710, №15-57-04074, гранта Программы Президиума РАН №229

Описан предлагаемый авторами подход к ситуационному управлению в энергетике на основе семантического моделирования. Современная трактовка ситуационного управления рассматривается как отображение идей Д. А. Поспелова и его учеников на современные информационные технологии. В качестве основных методов ситуационного управления предлагаются методы ситуационного анализа и ситуационного моделирования, реализуемые с помощью технологий и инструментальных средств семантического моделирования в энергетике, к которому отнесены онтологическое, когнитивное, событийное и вероятностное (на основе Байесовских сетей доверия) моделирование. Для обоснования предлагаемого подхода используется авторская фрактальная стратифицированная модель, с помощью которой рассмотрены структура и основные составляющие предлагаемого языка ситуационного управления.

Введение. Авторы развивают высказанную ими ранее идею применения концепции ситуационного управления для управления в энергетике в условиях экстремальных ситуаций. Предлагается трактовка идей Д. А. Поспелова и его учеников, опирающаяся на достижения современных информационных технологий, в частности, на результаты в области семантического моделирования в энергетике, к которому отнесены онтологическое, когнитивное, событийное и вероятностное (на основе Байесовских сетей доверия) моделирование. Концепцию ситуационного управления предлагается развивать для управления в энергетике в условиях экстремальных ситуаций, к которым отнесены как чрезвычайные, так и критические ситуации, причем основное внимание предлагается уделять последним, для предотвращения перерастания критических ситуаций в чрезвычайные. Обращается внимание на актуальность моделирования и анализа критических ситуаций, позволяющих сформировать перечень превентивных и оперативных мер, предотвращающих возможную чрезвычайную ситуацию, для чего предлагается интегрировать технологии семантического и математического моделирования. Для методологического обоснования данного подхода предлагается использовать авторскую фрактальную стратифицированную модель (ФС-модель), которая была предложена ранее для структурирования пространства знаний.

Современное состояние и тенденции развития ситуационного управления. Основоположниками направления «Ситуационное управление» по праву считаются Д. А. Поспелов и его ученики (Ж. Й. Железов, Ю. И. Клыков и др), результаты исследований которых были обобщены в [1]. Спад интереса к ситуационному управлению в России, наступивший в 90-х гг. XX в., можно объяснить как изменениями экономикополитических условий в стране и наступившей «зимой искусственного интеллекта», так и трудностями, с которыми столкнулись разработчики, пытаясь по-

строить модели сложных объектов управления с помощью предлагаемых подходов.

Развитие информационных технологий позволяет дать современную трактовку этого направления, основанную на появлении как более совершенной техники, так и новых методов и подходов, в том числе семантического моделирования. Кроме того, претерпела изменения сама парадигма искусственного интеллекта. Если на ранних этапах его развития предполагалось, что системы ИИ могут заменять, в ряде случаев, естественный интеллект, сейчас получают распространение *интеллектуальные вычисления* (Intelligent Computing), под которыми понимаются методы и системы искусственного интеллекта, направленные на усиление и поддержку естественного интеллекта (поддержку принятия решений экспертами).

В настоящее время получают распространение более прагматические трактовки ситуационного управления. В словаре терминов МЧС (2010) ситуационное управление определяется как деятельность органов управления, при которой решения и управляющие воздействия субъекта управления основываются на анализе вариантов принятия решения с учетом: текущего состояния объекта управления, располагаемых вариантов действий и прогноза последствий принимаемых управленческих воздействий.

В [2] используется идея ситуационного управления, суть которой заключается в выборе управленческих решений с учетом сложившейся ситуации из некоторого набора допустимых (типовых, стандартных) управляющих воздействий. Под текущей ситуацией S при этом понимается совокупность текущего состояния объекта (вектор состояния X) и его внешней среды (вектор возмущений F). Тогда $S = \langle X, F \rangle$. Вводится также понятие полной ситуации $S = \langle C, G \rangle$, где C — текущая ситуация, G — цель управления. В свою очередь, цель управления G может быть представлена в виде целевой ситуации G_g , к которой должна быть

приведена имеющаяся текущая ситуация. Тогда $S = \langle C, G_g \rangle$. Полагая, что текущая ситуация C принадлежит некоторому классу Q' , а целевая (заданная) ситуация G_g — классу Q'' , ищется такое управление (вектор управляющих воздействий U), которое принадлежит множеству допустимых управлений Ω_u и обеспечивает требуемое преобразование одного класса ситуаций в другой:

$$C \in Q' \xrightarrow{U \in \Omega_u} C_g \in Q''$$

Таким образом, ситуационное управление выступает как отображение $(Q', Q'') \rightarrow C_g \in \Omega_u$, сопоставляющее паре «текущая ситуация — целевая ситуация», требуемый результат — управление U .

Другими словами, при ситуационном управлении проблема выбора управляющих воздействий сводится к адекватной оценке состояния объекта и среды (что усложняется при наличии факторов неопределенности), отнесению соответствующей текущей ситуации к одному из типовых классов и выбору такого управления (из определенного набора альтернатив), которое приводит к достижению поставленной цели управления (целевой ситуации) [2].

Ситуационный анализ и семантическое моделирование в энергетике. Рассмотренный выше подход был интерпретирован авторами в [3; 4] на примере исследований проблем энергетической безопасности (ЭБ), или, иначе, оценки состояния ТЭК в условиях возможных сценариев угроз ЭБ с учетом мероприятий, направленных на повышение уровня ЭБ. Авторами предложено использовать в этих исследованиях ситуационный анализ и ситуационное моделирование как основные методы ситуационного управления. При этом предлагается в первую очередь использовать идеи ситуационного управления для разработки стратегий развития энергетики России с учетом требований энергетической безопасности. Учитывая, что наличие факторов неопределенности усложняет адекватную оценку состояния объекта и среды, предложено использовать семантические технологии ситуационного анализа, к которым отнесены онтологическое, когнитивное, событийное и вероятностное (на основе Байесовских сетей доверия) БСД-моделирование. В коллективе, возглавляемом авторами, разработаны средства поддержки этих видов моделирования, интегрированные в рамках интеллектуальной ИТ-среды. Подробнее технологии семантического моделирования и инструментальные средства их поддержки (интеллектуальная ИТ-среда) рассматривались авторами в [5–7], а также на конференциях OSTIS [3; 8].

Авторы предлагают использовать концепцию ситуационного управления в энергетике для управления в условиях экстремальных ситуаций (ЭКС). Под экстремальными ситуациями в энергетике понимаются как чрезвычайные, так и критические ситуации, определение которых базируется на оценке состояний систем или объектов по шкале: «норма», «предкризис» —

критическая ситуация, «кризис» — чрезвычайная ситуация. Исходя из этого, под *критическими ситуациями* понимаются ситуации, когда возникают угрозы бесперебойному функционированию технических объектов и объектов обеспечения жизнедеятельности и/или угрозы жизни или здоровью как отдельных людей, так и социальных (профессиональных) групп [9].

Эти угрозы могут быть устранены принятием соответствующих превентивных и оперативных мер, которые не позволят критической ситуации перерасти в чрезвычайную. В приведенной выше трактовке ситуационного управления эти мероприятия соответствуют управляющим воздействиям U , обеспечивающим переход из текущей (критической) ситуации в целевую (безопасную). В настоящее время внимание уделяется преимущественно поддержке принятия решений и управлению в чрезвычайных ситуациях, когда требуется реализация оперативных и ликвидационных мероприятий, на это направлена, в том числе, деятельность подразделений МЧС. Авторы обращают внимание на актуальность моделирования и анализа критических ситуаций, позволяющих сформировать перечень превентивных и оперативных мер, предотвращающих возможную чрезвычайную ситуацию, для чего предлагается интегрировать технологии семантического и математического моделирования. Для методологического обоснования данного подхода предлагается использовать авторскую фрактальную стратифицированную модель (ФС-модель), которая была предложена ранее для структурирования пространства знаний.

Фрактальный подход к построению инструментальных средств ситуационного управления в энергетике. ФС-модель была предложена как концептуальная модель структурирования знаний, основанная на представлении разных форм (видов) знаний как объектов расслоенного (стратифицированного) пространства [10]. При построении ФС-модели вводится понятие *информационных миров* — подпространств, объединяющих однотипные информационные объекты, то есть объекты, определяемые совокупностью свойств, являющихся существенными в этом рассмотрении (координат данного подпространства).

ФС-модель определяется как совокупность непесекающихся слоев (информационных миров) и их отображений в информационном пространстве. Каждому уровню соответствует свой слой (страта) этого пространства и, следовательно, свой информационный мир; последовательность отображений отражает процесс познания. Графически ФС-модель удобно изображать в виде совокупности вложенных сферических оболочек. Информационный объект, обозначаемый условно точкой на одной из сфер, в свою очередь, может быть расслоен при необходимости более детального его рассмотрения (в одном случае может быть удобно рассматривать сложный объект как точку, а в другом — перейти к более детальному рассмотре-

нию выбранного объекта при сохранении «точечного» представления других).

Поскольку знания любого исследователя не всеобъемлющи, каждый практически работает со своим «фракталом» знаний — «вырезкой» из информационного пространства, которую можно представить в виде конуса или пирамиды, что соответствует, например, выделению дисциплин при изучении реального мира (рис.1). Математическое описание ФС-модели приведено в [11].

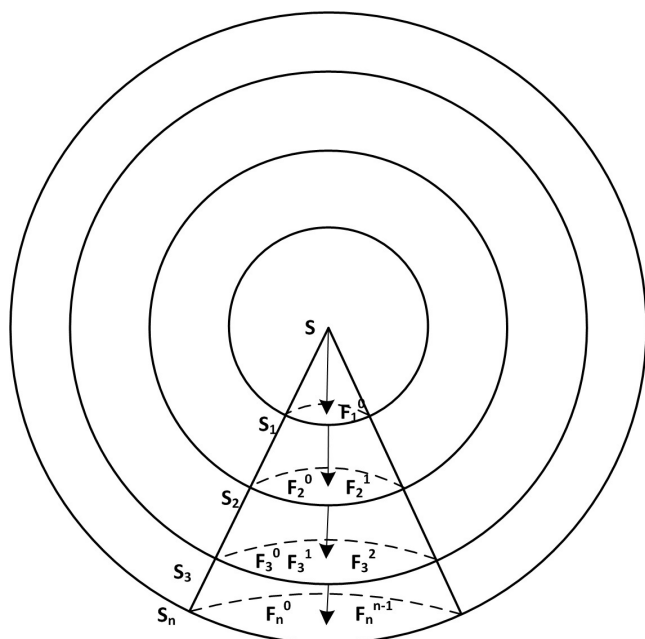


Рис. 1. Фрактальная стратифицированная модель S_i — слои (страты) ФС-модели, F_j^i — отображения из i -го слоя в j -й

Применение ФС-модели для методологического обоснования разработки средств ситуационного управления будет рассмотрено ниже.

Языки и инструментальные средства ситуационного управления. Для описания объектов управления Д. А. Пospelовым и его учениками предлагалось использовать семиотические, или знаковые, модели, включающие как необходимые формализмы, так и правила их изменения, а также дискретные ситуационные сети (ДСС). В качестве языков ситуационного управления рассматривались: язык исчисления предикатов первого порядка, язык RX-кодов (прообраз современных онтологий), универсальный семантический код; предлагалось создать универсальный ЯСУ на основе ДСС (подробнее это рассматривалось авторами в [3]). К сожалению, учитывая как усовершенствование технической платформы, так и появление новых языков программирования, в настоящее время невозможно использовать программные средства, разработанные в 80-х гг. XX в., которые, если и сохранились, перешли в категорию унаследованного программного обеспечения.

С помощью ФС-модели можно представить язык ситуационного управления как пятерку $L = (C, G, E, U, F)$,

где C и G — описание исходной и целевой ситуаций, E — сценарий ЭкС, U — описание управляющих воздействий (событий), F — описание отображений.

В соответствующей ФС-модели могут быть выделены слои как исходных и целевых ситуаций C и G , так и E — сценариев ЭкС. Управляющие воздействия U могут быть описаны как события, образующие отдельный слой. Отображения F есть не что иное, как наложение сценариев E на исходные ситуации C , порождающие «переходные ситуации» P , а также воздействие управляющих воздействий U на «переходные ситуации» P , с тем, чтобы перевести их в целевые (устойчивые) ситуации G .

Соответственно, язык ситуационного управления должен включать две составляющие (D, M): средства описания знаний D (для описания ситуаций, сценариев, управляющих воздействий) и средства манипулирования знаниями M (для поддержки отображений). Последние включают как средства поддержки отображений F , так и, в идеале, средства логического вывода на цепочках (C, E, P, U, G) (исходная ситуация, сценарий ЭкС, переходная ситуация, управляющее воздействие, целевая ситуация).

На данном этапе в качестве средств описания знаний (D) предлагается использовать на первом шаге онтологии ситуаций, сценариев, событий и метаонтологии интегрирующие детальные онтологии. На втором и последующих шагах онтологии отображаются в когнитивные модели, отражающие причинно-следственные связи концептов (понятий онтологий), событийные модели, описывающие развитие ситуаций, и БСД-модели, моделирующие риски возникновения ЭкС.

В качестве средств манипулирования знаниями (M) разрабатываются средства поддержки отображений F : переход от онтологий к когнитивным, событийным и БСД-моделям; переход от когнитивных моделей к событийным; переход от когнитивных и от событийных моделей к БСД-моделям. В предыдущих работах авторов они назывались средствами интеграции когнитивных, событийных и БСД-моделей.

Для реализации средств логического вывода на первом шаге может быть использовано исчисление предикатов (например, конструкции языка Пролог). В настоящее время средства ситуационного управления, включающие библиотеки онтологического (OntoMap), когнитивного (CogMap), событийного (EventMap) и вероятностного (BayNet) моделирования реализуются в составе ситуационного полигона, разрабатываемого под руководством и при участии авторов [12].

Ситуационный полигон — совокупность данных, знаний и инструментальных средств, которые предназначены для рассмотрения (моделирования) разных ситуаций, направлений их развития и анализа их последствий.

На рис. 2 представлена схема ситуационного полигона, которая включает в себя:

- базу знаний описаний ситуаций;
- базу знаний описаний сценариев ЭкС;
- авторский геокомпонент (Р. А. Иванов);
- авторские инструментальные средства когнитивного, событийного и БСД-моделирования (А. Г. Массель, В. Л. Аршинский, Е. В. Пяткова).

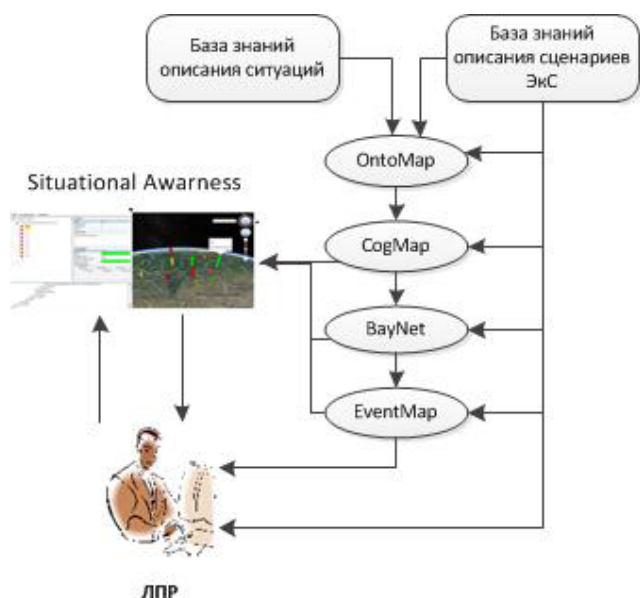


Рис. 2. Общая схема ситуационного полигона:

OntoMap, CogMap, EventMap, BayNet — инструментальные средства для поддержки онтологического, когнитивного, событийного и БСД-моделирования; Situational Awareness — веб-сервис «Ситуационная осведомленность в энергетике» для 3D-визуализации, использующий геосервис Google; ЛПР — лицо, принимающее решение; ЭкС — экстремальная (критическая или чрезвычайная) ситуация в энергетике

Предполагается два режима использования ситуационного полигона: 1) в стабильной обстановке, когда могут описываться или моделироваться возможные ситуации и предлагаемые решения; 2) в стрессовой обстановке (условия экстремальной ситуации), когда необходимо оперативно принимать решения.

В стабильной обстановке ситуационный полигон может использоваться как тренажер, искусственно формирующий образ реальной ситуации с заданными параметрами, моделирующий развитие этой ситуации и совмещающий: генерирование описания ситуаций, сценариев ЭкС и развития ситуаций, 3D-визуализацию геопространственной информации, возможность внесения управляющих воздействий на разных стадиях, различное отображение результатов моделирования.

В стрессовой обстановке ситуационный полигон может использоваться как для поддержки принятия стратегических и тактических решений, так и при дальнейшем развитии полигона, для поддержки принятия оперативных решений в реальном времени.

Разработка ситуационного полигона выполняется на основе интеллектуальной инструментальной ИТ-среды [6]. Следующая версия полигона выполняется в виде многоагентной системы с реализацией интеллектуальных агентов как сервисов.

Одним из основных компонентов ситуационного полигона является авторский геокомпонент (Р. А. Иванов), направленный на визуализацию результатов энергетических исследований. В связи с тем, что геосервисы, подобные GoogleEarth, обладают ограниченным набором объектов и процессов, было предложено использовать геокомпонент для формирования KML-файла из результатов исследований.

В качестве баз знаний описаний ситуаций и сценариев ЭкС предложено использовать базы знаний интеллектуальной ИТ-среды, интегрируемые с помощью авторского репозитория (А. Н. Копайгородский).

Лицу, принимающему решения (ЛПР), предлагается для оценки различных вариантов развития ситуации воспользоваться инструментальными средствами когнитивного, событийного, БСД-моделирования и средствами визуализации результатов.

Заключение. Рассмотрен подход к разработке инструментальных средств ситуационного управления в энергетике, основанных на семантическом моделировании. В качестве основных методов ситуационного управления рассматриваются методы ситуационного анализа и ситуационного моделирования, в основе которых лежат технологии и инструментальные средства онтологического, когнитивного, событийного и вероятностного (на основе Байесовских сетей доверия) моделирования. Для методологического обоснования предложенного подхода используется авторская ФС-модель. Выделены две основные составляющие языка ситуационного управления: средства описания знаний (для описания слоев ФС-модели) и манипулирования знаниями (для поддержки отображений слоев). Показано, что на первом этапе для поддержки этих составляющих могут быть использованы разработанные в авторском коллективе средства семантического моделирования: онтологического, когнитивного, событийного и вероятностного моделирования, которые интегрируются в рамках разрабатываемого под руководством и при участии авторов ситуационного полигона.

Библиографический список

1. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д. А. Поспелов. М. : Наука, 1986. 284 с.
2. Васильев, В. И. Интеллектуальные системы защиты информации / В. И. Васильев. М. : Машиностроение, 2012. 171 с.
3. Массель, Л. В. Ситуационное управление и семантическое моделирование в энергетике / Л. В. Массель, А. Г. Массель // OSTIS : тр. IV Междунар. конф. Минск : БГУИР, 2014. С. 111–116.
4. Массель, Л. В. Методы и технологии интеллектуальной поддержки принятия решений в энергетике / Л. В. Массель // Информационные технологии и системы [Электронный ресурс] : тр. Третьей Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 26 февр. — 2 марта 2014 г.

(ИТиС – 2014) : науч. электрон. изд. / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 147–150.

5. Массель, Л. В. Применение онтологического, когнитивного и событийного моделирования для анализа развития и последствий чрезвычайных ситуаций в энергетике / Л. В. Массель // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2010. № 2. С. 34–43.

6. Массель, А. Г. Методологический подход к организации интеллектуальной поддержки исследований проблемы энергетической безопасности / А. Г. Массель // Информ. технологии. 2010. № 9. С. 32–36.

7. Массель, Л. В. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики / Л. В. Массель, А. Г. Массель // Изв. Томс. политехн. ун-та. 2012. Т. 321, Вып. 5. Управление, вычислительная техника и информатика. С. 135–141.

8. Массель, Л. В. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования / Л. В. Массель,

А. Г. Массель // OSTIS-2013 : материалы III Международ. науч.-техн. конф. Минск : БГУИР, 2013. С. 247–250.

9. Массель, Л. В. Технологии и инструментальные средства интеллектуальной поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях в энергетике / Л. В. Массель, А. Г. Массель // Вычислител. технологии. 2013. Т. 18. С. 37–44.

10. Массель, Л. В. Фрактальная модель структурирования знаний / Л. В. Массель // Искусственный интеллект — 94 : сб. науч. тр. Национ. конф. с междунар. участием. Рыбинск, 1994. Т. 1. С. 46–49.

11. Массель, Л. В. Фрактальный подход к построению информационных технологий / Л. В. Массель // Информационная технология исследований развития энергетики. Новосибирск : Наука, 1995. С. 40–67.

12. Массель, А. Г. Ситуационный полигон как инструмент ситуационного управления в энергетике / А. Г. Массель, Р. А. Иванов // OSTIS : тр. IV Междунар. конф. Минск : БГУИР, 2014. С. 277–280.

О. Ю. Матковская

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО КОНТЕНТА НА ОСНОВЕ ШАБЛОНОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Дана краткая характеристика о системе управления курсами Moodle, описан алгоритм для встраивания нового модуля в систему Moodle, перечислены основные файлы, которые должны быть в любом модуле, и прописано их основное содержание. А также охарактеризованы основные части API Moodle.

Во всех учебных заведениях каждый год проходят защиты дипломных, курсовых, магистерских и других работ. Все презентации, подготовленные к защите подобных работ, имеют разные стили: у некоторых есть нумерация страниц, у других ее нет, у некоторых есть Ф. И. О. научного руководителя на первой странице презентации, у других нет и т. д. Конечно, преподаватели стараются проверить, чтобы у всех студентов было примерно все одинаково, но это не всегда получается. Таким образом, возникает проблема совместной подготовки онлайн-презентаций, появляется необходимость в разработке веб-приложения для создания онлайн-презентаций по шаблонам. При этом в качестве шаблона следует понимать не внешнее оформление презентации, а текстовое содержание (последовательность изложения текста).

Цель работы — реализовать плагин (модуль) онлайн-презентаций для системы Moodle.

Были поставлены следующие задачи:

- изучить API Moodle;
- реализовать плагин (модуль);
- протестировать плагин (модуль).

В нашем университете активно используется система Moodle — система управления курсами (CMS), также известная как система управления обучением (LMS) или виртуальная обучающая среда (VLE). Это бесплатное веб-приложение, предоставляющее возможность преподавателям создавать эффективные сайты для онлайн-обучения [1]. Эта система используется для прохождения тестов по разным курсам студентами, для выкладывания информации по курсу преподавателями.

Были рассмотрены аналоги существующих сервисов создания онлайн презентаций.

1. 280slides.com — очень интересный бесплатный сервис с хорошим дизайном. Имеет встроенные темы. Есть возможность добавлять в презентацию текст, изображения, видео (можно с youtube). Готовую презентацию можно сохранить в формате PowerPoint, отправить по почте или встроить в блог.

2. Prezentit.com — хороший бесплатный сервис для создания презентаций. Чтобы создать презентацию нужно с начала зарегистрироваться.

3. Show.zoho.com/login.do — еще один бесплатный сервис для создания презентаций. Имеет множество готовых тем оформления презентаций. Готовую презентацию можно встроить в свой блог или сайт.

4. Prezi.com — представляет собой сервис для создания презентаций онлайн. Чтобы воспользоваться этим онлайн сервисом необходимо зарегистрироваться, также активация происходит через аккаунт Facebook. С помощью этого сервиса можно создавать профессиональные презентации, буквально после 15 минут работы с сервисом. Имеет бесплатные и платные тарифные планы.

5. Google-презентации — для доступа к этому сервису (как и для использования всех офисных приложений Google Drive) у вас должен быть Google-аккаунт. После создания презентация будет доступна из любой точки мира и с любого компьютера. Инструмент очень понятный, с неплохим выбором тем и структурных схем. Удобная особенность: возможность вставлять в презентацию дополнительные интерактивные элементы, к примеру, ролики с YouTube, прямой ссылкой и сохранять итоговый вариант в самых разных форматах: PDF, jpg, png и др.

Общие недостатки:

- все эти сервисы англоязычные;
 - для преподавателей нет возможности ограничить каким-либо образом презентации своих подчиненных;
 - необходима регистрация или необходимо иметь аккаунт в Facebook (аналог 4) или в Google (аналог 5).
- Общие достоинства:
- все эти сервисы доступны из сети Интернет;
 - сервисы имеют множество готовых тем оформления презентаций;
 - готовую презентацию можно встроить в свой блог или сайт.

Платформ, которые позволяют создавать онлайн презентации, огромное множество. Все они по-своему хороши, но не одна из них не позволяет разграничивать права доступа на «преподавателя» и «студента», не позволяет создавать шаблоны для презентаций.

Проанализировав аналогичные решения, можно прийти к выводу, что создание презентаций по шаблонам не позволяет ни одна из представленных систем. При этом в качестве шаблона следует понимать не внешнее оформление презентации, а текстовое содержание презентации (последовательность изложения текста). Таким образом, актуальность в разработке нового продукта очевидна.

Moodle — система управления курсами (электронное обучение), также известная как система управле-

ния содержимым, или виртуальная обучающая среда. Она представляет собой свободное (распространяющееся по лицензии GNU GPL) веб-приложение, предоставляющее возможность создавать сайты для онлайн-обучения [5].

Система ориентирована прежде всего на организацию взаимодействия между преподавателем и учениками, хотя подходит и для организации традиционных дистанционных курсов, а также поддержки очного обучения.

Moodle переведена на десятки языков, в том числе русский, и используется почти в 50 тысячах организаций из более чем 200 стран мира. В России зарегистрировано более 1000 инсталляций. Количество пользователей Moodle в некоторых инсталляциях достигает 500 тысяч человек. Большая часть наиболее активных разработчиков ядра Moodle являются сотрудниками Moodle Pty LTD. В России официальным партнером Moodle является ООО «Открытые технологии».

Moodle написана на PHP с использованием SQL-базы данных (MySQL, PostgreSQL, Microsoft SQL Server и другие базы данных — используется ADOdb XML). Moodle может работать с объектами SCO и отвечает стандарту SCORM. Moodle используется без модификаций на операционных системах Unix, Linux, FreeBSD, Windows, Mac OS X, Netware и любых других системах, поддерживающих PHP.

Благодаря развитой модульной архитектуре, возможности Moodle могут легко расширяться сторонними разработчиками. Существенное расширение функциональных возможностей Moodle достигается за счет интеграции подсистемы для организации вебинаров/веб-конференций. Помимо языковой поддержки и шаблонов оформления, Moodle позволяет подключать также следующие типы модулей:

- элементы курса;
- отчеты администратора;
- типы заданий;
- плагины аутентификации;
- блоки;
- форматы курсов;
- отчеты по курсам;
- поля базы данных (для элемента курса «База данных»);
- плагины подписки на курсы;
- фильтры;
- отчеты по оценкам;
- форматы экспорта оценок;
- форматы импорта оценок;
- портфолио;
- типы вопросов в тестах;
- форматы импорта/экспорта тестов;
- отчеты по тестам;
- хранилища файлов;
- типы ресурсов;
- плагины поиска.

Если в наличии нет необходимого модуля с нужным функционалом, можно написать новый модуль и встроить его в систему Moodle. Для написания нового модуля можно использовать пустой шаблон, API-функции Moodle, язык программирования PHP, язык гипертекстовой разметки HTML, каскадные таблицы стилей CSS.

Пустой модуль с обязательными, но пустыми файлами для работы можно скачать на сайте http://download.moodle.org/plugins/mod_NEWMODULE.zip.

Для начала необходимо выбрать новое имя для модуля. В нем не должно быть заглавных букв, цифр и название модуля не должно совпадать с названиями уже имеющихся модулей (все имеющиеся модули можно посмотреть в папке `/var/www/moodle/mod/`). В качестве примера можно выбрать: «widget».

В каждом файле модуля нужно заменить «newmodule» на имя «widget». Имя папки, содержащей только что созданный модуль, также должно иметь название «widget».

Нужно скопировать папку модуля в `var/www/moodle/mod/`.

Затем зайти в Администрирование сайтом (Moodle → Site Administration) и выберите «Notifications». В списке обновлений автоматически должен появиться устанавливаемый модуль.

Далее нужно нажать на кнопку «Upgrade Moodle database now». После чего можно зайти в нужный курс и добавить новый модуль «widget» [1].

В папке «newmodule» находятся следующие файлы:

- `db/install.xml`;
- `db/upgrade.php`;
- `icon.gif`;
- `index.php`;
- `lang/en_utf8/help/newmodule/index.html`;
- `lang/en_utf8/help/newmodule/mods.html`;
- `lang/en_utf8/newmodule.php`;
- `lib.php`;
- `mod_form.php`;
- `README.txt`;
- `version.php`;
- `view.php`.

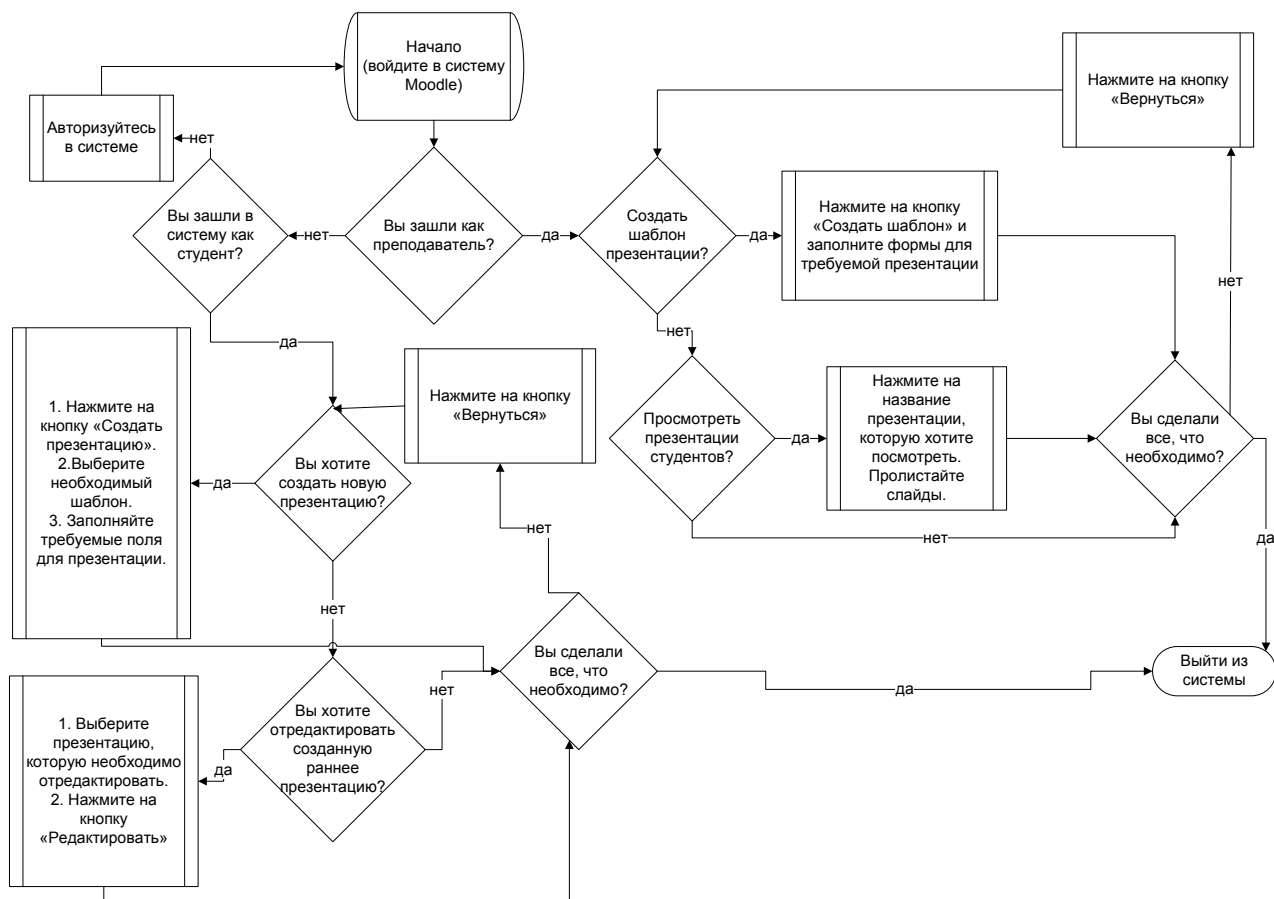
Более подробно о некоторых из них.

db/install.xml. Этот файл нужен для написания XML, описывающий таблицы, необходимые для работы модуля. Это обязательный файл, где нужно написать структуру таблиц модуля, который будет использоваться.

db/upgrade.php — файл, который необходимо переписывать каждый раз, когда необходимо изменить структуру таблиц модуля.

index.php — файл для перечисления всей функциональности модуля, имеющейся в курсе.

Lang. В этой папке сохранены языковые пакеты. Языковым пакетом модуля является папка с именем «xx_utf8», содержащая, в свою очередь, папку с именем «help» и языковой файл, имя которого совпадает



Блок-схема логик

с именем модуля. Каждый файл языка посвящен определенному языку. Папка языка могут содержать как можно больше языковых пакетов, как это предусмотрено различными переводчиками. Папка `Lang/xx_utf8/help/` содержит все файлы, необходимые для справки. Чтобы связать файл помощи изнутри кода страниц модуля, нужно использовать команду `$mform → setHelpButton` в `mod_form.php`.

lib.php. Этот файл является предварительно заполненным файлом с основными функциями, необходимыми каждому модулю. Файл должен иметь две особенные черты: все основные функции должны позволять модулю работать в интегрированной среде Moodle, все функции, имеющие название как у модуля, являются специфическими функциями, необходимыми для реализации всей логики модуля.

mod_form.php — файл, описывающий форму, которую можно получить при создании экземпляра модуля или по просьбе редактирования времени.

version.php. Этот файл является очень простым и при этом очень важным. Если в процессе разработки модуля необходимо изменить структуру таблиц или некоторые возможности, используемые модулем, необходимо изменить именно в этом файле версию модуля, и только тогда Moodle перезагрузит возможности.

view.php. Этот файл является первый исполняемым кодом модуля. Он отвечает за первую страницу модуля.

Есть пять файлов, которые не присутствуют в пакете `newmodule`, но не менее важны, чем имеющиеся файлы:

- `locallib.php`;
- `access.php` (должен быть сохранен внутри `newmodule / DB /` папки; в этом файле можно добавлять все возможности, используемые модулем для установки);
- `settings.php` (должен быть добавлен в папку `newmodule`; этот файл является полезным, когда идет установка);
- `backuplib.php` (файл отвечает за дублирующий состав каждого экземпляра модуля);
- `restorelib.php` (отвечает за восстановление каждого экземпляра модуля).

Файловый программный интерфейс приложения представляет собой набор основных интерфейсов для хранения, обслуживания и управления файлами в системе Moodle [1].

API можно разделить на следующие части.

1. Хранение файлов — низкий уровень без контроля доступа информации. Сохраняет содержимое файлов на диске, с метаданными в связанных таблицах базы данных.
2. Предоставление файлов. Позволяет пользователям с доступом на сайт Moodle получить файлы (`file.php`, `draftfile.php`, `pluginfile.php`, `userfile.php` и т. д.) по запросу с соответствующей проверкой безопасности.
3. Связывание с пользовательскими интерфейсами. Предоставляет интерфейс для работы со следующими файлами: `lib/form/file.php`, `filemanager.php`, `filepicker.php` and `files/index.php`, `draftfiles.php`.

4. Просмотр файлов API. Позволяет просматривать код, чтобы при необходимости управлять файловой областью.

Перед нами была поставлена задача разработать модуль для создания онлайн-презентаций по шаблону, заданному преподавателем, для системы Moodle. При этом в качестве шаблона следует понимать не внешнее оформление презентации, а текстовое содержание презентации (последовательность изложения текста).

Логическая структура модуля представлена на рисунке. Для разных типов пользователей в модуле осуществлен разный функционал. Преподаватель имеет возможность создавать шаблоны к презентациям и просматривать ранее созданные презентации всех студентов. Студент может создать презентацию по готовому шаблону или отредактировать одну из своих ранее созданных презентаций. и модуля

Библиографический список

1. Официальный сайт Moodle [Электронный ресурс]. URL: http://docs.moodle.org/27/en/Main_page.
2. Система дистанционного обучения Moodle [Электронный ресурс]. URL: http://www.web-learn.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=23&Itemid=23.
3. Моя научная и околонаучная деятельность [Электронный ресурс]. URL: <http://smuncertainty.blogspot.ru/2012/01/moodle-2x-activity-5.html>.
4. Дьяченко, А. Среда дистанционного обучения Moodle [Электронный ресурс] / А. Дьяченко, Е. Цыганцов, В. Мязотс. URL: <http://smuncertainty.blogspot.ru/2012/01/moodle-2x-activity-5.html>.
5. Ru.Wikipedia.org: свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Moodle>.
6. Написание модулей для moodle [Электронный ресурс]. URL: <http://hashcode.ru/questions/161754/написание-модулей-для-moodle>.

А. В. Мельников, Б. А. Кузенбаев, А. А. Кузенбаева

ОНТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВУЗА

Представлена онтологическая модель, обеспечивающая управление учебными процессами, и предложены наиболее эффективные информационные технологии, предназначенные для повышения качества и конкурентоспособности разрабатываемых ресурсов.

В настоящее время существует острая необходимость привести к единой системе, к единой методологической основе различные подходы, методы и формы представления интернет-ориентированных ресурсов в сфере образования.

Целью данной работы является определение основных требований представления онтологической модели управления учебными процессами и предложение наиболее эффективных информационных технологий, предназначенных для повышения качества и конкурентоспособности разрабатываемых ресурсов.

Основной задачей автоматизации высшего образовательного учреждения является разработка, внедрение, сопровождение и эксплуатация автоматизированной информационной системы (АИС). В настоящее время АИС является обязательным компонентом деятельности образовательного учреждения, поддерживает управление процессами, обеспечивает доступ к данным и принятие решений [1].

Основной задачей АИС является автоматизация ключевых областей деятельности вуза, то есть управление учебным процессом (система управления качеством, проектирование учебного процесса, распределение и трудоустройство выпускников, организационное и техническое взаимодействие, деятельность по управлению учебным процессом, управление студентами, не освоившими образовательные программы, управление регистрацией данных о качестве подготовки, корректирующие и предупреждающие действия, подготовка кадров, профессиональное сопровождение выпускников т. п.). Большинство процессов вуза подвержены постоянным изменениям, особенно остро эта задача стоит в управлении учебным процессом. В вузе имеется большое число процессов, причем из разных областей, и они жестко связаны друг с другом по данным и функциональности. Активную роль в процессах вуза играют все сотрудники и студенты, а также абитуриенты и их родители, поэтому число пользователей АИС велико. Кроме того, контингент пользователей постоянно меняется. Требования к срокам автоматизации являются достаточно жесткими и не могут быть изменены, что обусловлено производственной необходимостью (графиком учебного процесса, приказами Министерства образования и науки) [2–4].

Эффективное управление учебным процессом яв-

ляется одной из важнейших управленческих задач в вузе, которая охватывает большое количество лиц, вовлеченных в этот процесс, — студентов, преподавателей, учебно-вспомогательного и административно-управленческого персонала, и прямо влияет на условия их работы и учебы. При этом нормативные документы, регламентирующие образовательную деятельность, оставляют большой простор при их реализации в условиях конкретного вуза. Учет всех имеющихся возможностей и их эффективная реализация требуют значительных трудозатрат со стороны управленческого персонала. Проблема обостряется в условиях перехода на новую систему управления образованием, порожденную присоединением к Болонской декларации и соответствующей значительной смене нормативных документов.

Для обеспечения адаптивности автоматизированной системы в управлении учебным процессом вуза была разработана семантическая сеть классов — онтология, которая представляет собой информационную модель предметной области.

В последние годы все больший интерес представляют методы описания предметной области, основанные на онтологиях. Большой вклад в разработку и использование таких методов внесли российские и зарубежные ученые: А. Н. Бездушный, Т. А. Гаврилова, Л. А. Калинин, А. С. Клещев, В. А. Серебряков, Т. R. Gruber, N. Guarion, L. Stojanovic, M. Uschold, Y. Wand, ученые компаний Hewlett Packard, Oracle, IBM, Microsoft, Sun Microsystems.

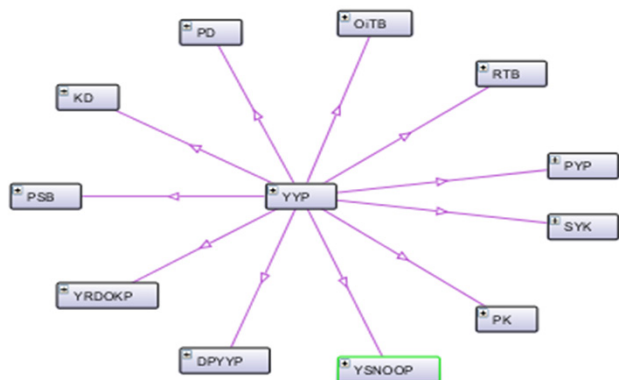
С точки зрения разработки эффективно сопровождаемой системы интерес к онтологическому подходу обусловлен следующими факторами. Во-первых, онтологии позволяют формализовать описание предметной области, а также правил поведения системы, что в свою очередь позволяет легко их модифицировать. Во-вторых, онтологии являются адаптером между пользователем и системой, что позволяет автоматически менять поведение системы при изменении формальных описаний. В-третьих, онтологии позволяют описать любые взаимосвязи между компонентами, что в свою очередь позволит разработать комплексную модель системы, автоматизирующей деятельность образовательного учреждения, о необходимости которой свидетельствуют исследования некоторых ученых. Поэтому в качестве основного подхода построения

модели автоматизированной системы, обеспечивающей решение основных задач, стоящих перед разработчиками эффективно сопровождаемой и эксплуатируемой АИС вуза, выбран онтологический подход.

Онтологическая модель содержит онтологии предметных областей деятельности вуза, области управления процессами и ИТ-области, а также отношения между онтологиями. Возможность изменения онтологической модели реализуется с помощью инструмента создания понятий, отношений между понятиями, ограничений на атрибуты и создание, редактирование и удаление экземпляров понятий. С помощью онтологии определено единое информационное пространство, в котором интегрируются различные модели представления знаний об управлении в учебном процессе вуза, знания о конкретной области подготовки специалистов, правила управления образовательным процессом и прецеденты конкретных проблемных ситуаций, требующих принятия решений.

Онтология отражает семантическую структуру управления учебным процессом. Прикладное приложение призвано поддерживать ее визуализацию в формах, ориентированных на управление.

Описав все классы, свойства, ограничения и объекты предметной области, мы получаем сложную систему иерархий, являющуюся основой для построения программных систем, способных осуществлять операции определенного интеллектуального уровня над информацией, содержащейся в онтологии. В ходе создания семантической структуры управления учебным процессом были выделены одиннадцать основных классов (рисунок).



Основные классы онтологии в УУП

Онтологии играют решающую роль в модели описания знания, без которой, как утверждают специалисты, вход в любую предметную область запрещен. Проектирование онтологии — это творческий процесс, и поэтому потенциальные приложения онтологии, а также понимание разработчиком предметной

области и его точка зрения на нее будут, несомненно, влиять на принятие решений.

Основные классы онтологии в управлении учебным процессом

YYP	Управление учебным процессом
SYK	Система управления качеством
PYP	Проектирование учебного процесса
RTB	Распределение и трудоустройство выпускников
OITB	Организационное и техническое взаимодействие
DPYYP	Деятельность по управлению учебным процессом
YSNOOP	Управление студентами, не освоившими образовательные программы
YRDOKP	Управление регистрацией данных о качестве подготовки
KD	Корректирующие действия
PD	Предупреждающие действия
PK	Подготовка кадров
PSB	Профессиональное сопровождение выпускников

Разработанная в данной работе онтологическая база предназначена для управления учебным процессом вуза. Построенная онтология позволит проводить моделирование и определять как различные характеристики объектов, так и узкие места в управлении учебным процессом вуза. Используя данные показатели, можно корректировать управление учебного процесса для наиболее полного удовлетворения потребностей и особенностей рынка труда.

Данный подход позволяет сформировать весьма полную и хорошо структурированную информационную базу для решения ряда основных задач компетентного подхода в практику высшей школы.

Библиографический список

1. Крюков, В. В. Корпоративная информационная среда вуза: методология, модели, решения : монография / В. В. Крюков, К. И. Шахгельдян. Владивосток : Дальнаука, 2007. 308 с.
2. Зафиевский, А. В. Автоматизация управления учебным процессом в вузе / А. В. Зафиевский // Успехи современ. естествознания. 2010. № 1. С. 115–117.
3. Андреев, В. В. Информационная подсистема оценки рейтинга профессорско-преподавательского состава / В. В. Андреев // Программные продукты и системы. 2009. № 4. С. 135–138.
4. Бубарева, О. А. К вопросу проектирования автоматизированной системы управления учебным процессом вуза / О. А. Бубарева // Телематика'2010: телекоммуникации, веб-технологии, суперкомпьютинг : сб. ст. участников Всерос. конкурса науч. работ студентов и аспирантов. СПб. : СПбГУ ИТМО, 2010. С. 72–76.

В. А. Мельников, Д. В. Курамшин, Д. С. Кушева

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИИ ЧАСТОТЫ ПОЯВЛЕНИЯ СООБЩЕНИЙ В СМИ И ДВИЖЕНИЯ КУРСА ВАЛЮТЫ

Выделены основные этапы действий крупных игроков по формированию и реализации своей позиции. Проведен анализ корреляции частоты появления сообщений в СМИ и движения курса валюты. Предложены дальнейшие пути развития инструментов прогнозирования движения цены на основе анализа частоты появления сообщений в СМИ.

В конце 2014 г. российская экономика вступила в очередной финансово-экономический кризис. Стоимость российского рубля к основным валютам развитых стран в течение трех месяцев снизилась в два раза. Это привело к массовому обнищанию населения, раскручиванию инфляции и другим следствиям финансового кризиса. Но как показывает практика, в рамках кризиса не все оказываются в проигрыше. Часть крупных игроков валютного рынка умудряются извлечь из кризиса огромную выгоду. Последние кризисные явления, а также желание создать инструмент, позволяющий отслеживать действия крупных игроков на рынках, обусловили актуальность научного исследования.

Современное общество невозможно представить без СМИ, социальных сетей, форумов общения по интересам. При этом СМИ получают возможность как просто передавать и констатировать уже свершившиеся факты, так и создавать некоторое необходимое общественное мнение на случившееся или ожидаемое событие. Одним из направлений экономики, активно использующим инструментарий СМИ, является валютный рынок. Любой валютный

рынок всегда существует в условиях информационной дискриминации. Соответственно появляется возможность для манипулирования через СМИ. Одним из ярких игроков, умеющих делать деньги на валютных кризисах, является Джордж Сорос. Одним из важнейших инструментов в войне с Британским ЦБ являлись СМИ, подконтрольные Соросу.

Каким же образом игроки формируют и раздают свою позицию? Из анализа открытых источников действия крупного игрока рынка можно разбить на три этапа: 1) формирование позиции; 2) инициация движения рынка; 3) закрытие позиции.

Первый этап характеризуется длительным формированием позиции. Крупные игроки формируют свою позицию неделями, а иногда даже и годами из-за размеров позиции, многократно превышающей объемы торгов в день. Соответственно, крупный игрок может формировать свою позицию только в условиях спокойно стоящего рынка, либо при движении рынка вниз. При этом объем торгов не должен превышать среднедневной объем за последние месяцы, в противном случае игрок выдаст себя. Второй этап



Рис. 1. График курса доллара к рублю

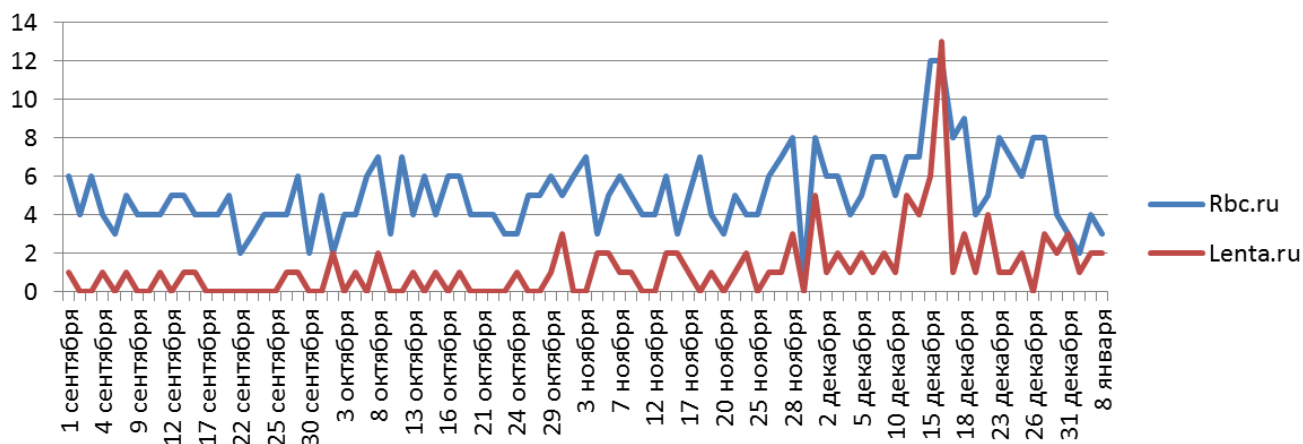


Рис. 2. Частота сообщений в СМИ

начинается за счет вливания крупной суммы средств, достаточной для преодоления бокового направления движения. Третий этап, как правило, происходит по тому же принципу что и второй, либо рост и затем боковое движение, где крупный игрок распределяет свою позицию, либо панический рост на огромных объемах, когда также легко раздать свою позицию рынку, причем в короткий срок. Последний способ наиболее приветствуется, так как позволяет в кратчайшие сроки зафиксировать прибыль. На основании указанных этапов движения рынка, а также информации о том, что крупные игроки активно используют СМИ, нами было проведено исследование частоты появления сообщений в СМИ и их направленности для формирования общественного мнения в рамках каждого из трех указанных этапов.

В качестве анализа использовался график валютной пары российский рубль — доллар США, а также лента новостей двух интернет-изданий: rbc.ru и lenta.ru. При этом учитывались только сообщения, связанные с изменением курса. Сопоставление графиков цены и частоты появления сообщений, относящихся к валюте, представлены на рис. 1 и рис. 2.

На основании сопоставления представленных графиков можно сделать следующие выводы.

1. Корреляция между количеством сообщений в СМИ и фазами рынка действительно присутствует.
2. Первая фаза хоть и не отражена на графике, но характеризуется крайне малым количеством сообщений о валюте, причем направленность этих сооб-

щений противоположна будущему движению цены. Рынок при этом вялый и движется слабо.

3. Вторая фаза рынка характеризуется малым количеством сообщений о движении рынка с постепенным нарастанием количества сообщений о неизбежном росте валюты и переходом к третьей фазе.

4. Третья фаза рынка характеризуется резким ростом сообщений панического характера, что неминуемо приводит к панике среди населения и резкому росту котировок. В этот момент крупный игрок производит окончательное закрытие своих позиций, распродавая валюту населению и другим мало информированным игрокам.

На основании сделанных нами выводов в дальнейшем планируется создать индикатор, анализирующий количество сообщений в СМИ и определяющий текущую фазу рынка, и провести его апробацию на исторических данных.

Библиографический список

1. Информационное агентство «РосБизнесКонсалтинг»: портал [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rbc.ru> (дата обращения: 15.01.2015).
2. Информационное агентство ООО «Lenta.ru»: портал [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lenta.ru> (дата обращения: 15.01.2015).
3. Джордж Сорос — «человек, который сломал Банк Англии»: портал [Электронный ресурс]. URL: <http://smart-lab.ru/blog/40758.php> (дата обращения: 16.01.2015).

И. Л. Надточий

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ, ПОДДЕРЖИВАЮЩИХ ПРОФЕССИОНАЛЬНУЮ ПЕРЕПОДГОТОВКУ ИТ-СПЕЦИАЛИСТОВ

Рассматриваются вопросы повышения интеллектуальных возможностей обучающих систем. Реализация предлагаемой методики требует существенного пересмотра организации методик работы со знаниями. В основу методики положено исследование образовательной информации для эффективного решения задач поиска. Предлагается многоуровневая организация лингвистических обеспечений с использованием интеллектуального компонента ActiveAgentX.

Формулируются критерии выбора и требования к инструментальной системе, обладающей определенной степенью интеллектуальности.

Сейчас сформировался социальный заказ на разработку обучающих систем по естественным наукам, более стимулирующих самостоятельное мышление учащегося, чем накапливающих его знаниями, что особенно необходимо для организации профессиональной переподготовки. Творчество в этих науках, как правило, ассоциируется с решением нестандартных задач, что позволяет глубже усваивать теорию и тренировать интуицию и логическое мышление [1]. В современных условиях эффективность образовательного процесса в значительной степени определяется тем, каким образом предоставляется обучаемая информация, как воспринимается эта информация обучаемыми, как отрабатывается увеличение скорости изменения обучаемой информации, как эта информация «приближается» к обучаемому.

В любых автоматизированных обучающих системах в той или иной степени присутствуют две составляющие: интеллектуальная (система поддержки решения) и интерфейсная. Причем, как правило, в существующих обучающих системах наблюдается явное преимущество диалога (интерфейса) перед интеллектом. Поэтому именно интеллект информационных систем, предназначенных для выработки навыков решения задач, должен быть выше.

Реализация интеллектуальных обучающих систем требует существенного пересмотра теоретического и методического базиса. Как представляется, современные достижения в логике, искусственном интеллекте и программировании уже сформировали [1]. Перечислим функциональные фрагменты подобной системы с указанием теоретических и инженерных разработок, которые могут быть использованы для их реализации.

Чтобы быть полезной для обучающегося, обучающая система должна обладать следующими возможностями.

1. Включать стандартное обучающее ядро, которое естественно вводило бы учащегося в проблемную область и знакомило бы со стандартными приемами решения.

2. Обладать естественными средствами ввода задач и отображения их решений.

3. Содержать интерфейсную интерактивную подсистему решения задач, как это используется в интеллектуальных технологиях.

4. Содержать подсистему объяснения решения, так как машинное решение плохо осознано обучающим без описания всех логических переходов. Подсистема легко реализуется, если основываться на двухуровневой модели лингвистических средств, позволяющим управлять порождением пространства поиска и сохранять в памяти дерево доказательства со всеми откатами и переходами к новым подзадачам.

Для ее разработки предлагается использовать метод нахождения неподвижной точки в классе нормальных моделей [1]. Данный метод отличается от известных методов поиска тем, что в последних пространство поиска мало чем напоминает естественное доказательство, так как исходная задача переводится на некий искусственный язык (например, дизъюнктов в методе резолюций).

В основу предлагаемой методики положен опыт применения методик исследования образовательной информации для эффективного решения задач поиска, структурирования и анализа в основном хаотично организованной информации на ИТ-образовательных сайтах. Такие методики находят применение при организации дистанционного ИТ-образования как основных, так и дополнительных форм обучения. При этом инструментарий позволяет проводить автоматизированный анализ образовательной информации, такой как контрольные работы, результаты тестирования, эссе, рефераты, фрагменты курсовых и выпускных квалификационных работ по широкому спектру дисциплин.

В системах автоматического поиска одновременно с порождением элементов доказательства приходится управлять этим процессом [2]. Здесь успешно зарекомендовали себя современные сценарные языки и язык описания стратегий поиска. В последнем

случае язык позволяет, кроме описания стратегии поиска, задавать различные компоненты стратегий во время программирования процедуры поиска, что можно реализовать на программном уровне.

В данном случае предлагается многоуровневая организация лингвистических средств программирования: верхний уровень служит для управления (интерфейса), а самый нижний — для описания элементов доказательства.

Например, на верхнем уровне интеллектуальное инструментальное средство для автоматизации создания интеллектуальных компонентов программных систем можно выбрать ActiveAgentX [1]. По сути, данная среда использует обобщенную объектную модель — COM-модель. Средство максимально использует универсальные средства Microsoft: Visual Basic; Visual Java; COM-модель.

Действительно, ActiveAgentX может быть интегрирован в любую программную систему. Он преобразует правила ведения какого-либо процесса в правила логического вывода, а поскольку такие правила имеют очень простой синтаксис, то данное средство может быть встроено в программную систему как компонент для принятия решения. То есть при использовании механизма логического вывода этот компонент предоставляет развитые средства для создания интеллектуальных компонентов, которые позволяют использовать средства предоставления интеллектуальной информации на машинах клиента, либо в веб-браузере. Поддержка элемента ActiveX-технологии делает это средство максимально защищенным.

ActiveAgentX может применяться в системах поддержки принятия решений, содержащих правила, которые могут быть автоматически получены по корпоративным сетям при использовании веб-браузеров операционных систем. ActiveAgentX может быть также встроен внутрь Java-апплетов, которые используются браузером Explorer или автономно как прикладная программа Java, написанная на языке Java или Visual J++.

ActiveAgentX по своей сути преобразует правила, отражающие бизнес-логику приложения непосредственно в продукционные правила. Такая обработка правил практически устраняет процесс кодирования. При этом обработка правил не требует от системного программиста создания логических схем, которые полностью отображали бы все детали, полученные от системных аналитиков в сфере бизнеса. Причем обработка правил облегчает взаимно однозначное кодирование логических спецификаций в деловые правила. При этом схема алгоритма не является вспомогательной моделью гипотетического процесса, которая позволяет программистам моделировать процесс ведения бизнеса, используя процедурные языки программирования третьего поколения. Это решается в рамках продукционных систем. Здесь продукция — это просто правило. Продукции были сначала

введены как формальный способ выражения языков в информационных технологиях.

Считается, что для рассматриваемых методик разделение на порождение и стратегии существенно снижает трудозатраты при создании систем поиска решения.

Инструментально этот компонент легко реализуется и позволяет управлять порождением пространства поиска и сохранять в памяти дерево доказательства со всеми откатами и переходами к новым подзадачам

При наличии такого инструментального компонента, как системы автоматизированного поиска решения, обучаемый сам планирует решение, разбивает задачу на подзадачи, выдвигает и проверяет гипотезы, вводит дополнительные условия, ограничения и свои схемы. На интерфейсном уровне такая система терпеливо объясняет все возникающие варианты и анализирует предлагаемые способы решения, то есть осуществляет процесс автоматизированного управления.

В результате сеанс «обучения» или решения ничем не отличается от обычной творческой деятельности.

Интеллектуальный подход к созданию автоматизированных обучающих систем позволяет обучаемому принимать решения диагностического, классификационного, организационно-управленческого, прогностического характера для различных ИТ-проблемных областей (проектирование, внедрение, сопровождение, новые проекты и т. п.), а также сравнивать принимаемые интеллектуальной системой решения с предлагаемыми обучаемым (пользователем).

При этом пользователь формулирует задание в своих профессиональных понятиях, например, описание ситуации в пространстве признаков (некоторые признаки могут быть не определены) и контролирует выработку решений с помощью описанных ниже средств когнитивной графики. Обучаемый указывает точкой пространственное расположение ситуации относительно трех выбранных решений. Если точка лежит на одной из сторон, пользователь принимает точное решение, соответствующее данной стороне. Далее результаты, принимаемый интеллектуальной системой, и указанный пользователем сравниваются, дается оценка качеству принятия решения обучаемым как численная. Предварительно в целях обучения пользователю представляются имеющиеся в базе знаний системы ситуации и принимаемые по ним решения.

Затем кодов выбираются из базы знаний описания ситуаций, ряд ситуаций и по каждой из них пользователь принимает решения с применением когнитивных средств. Кроме того, решения, принимаемые системой и пользователем, сравниваются и обосновываются теми же когнитивными методами.

Таким образом, можно сформировать ряд критериев, которыми следует руководствоваться при выборе прикладной или инструментальной системы:

– система должна быть именно системой, что означает изменение в одной ее части должны автоматически изменить показатели в других ее раздела;

– система должна обеспечивать реализацию бизнес-процессов, которые задаются в различной форме;

– система должна быть легка в обучении и дружелюбна;

– система должна давать возможность отследить, кто и когда внес изменения в том или ином файле, какая запись была до этих изменений.

В системах среднего уровня и выше (стандартные и продвинутое курсы повышения квалификации) должны присутствовать надежные программы защиты данных и функции распределения прав доступа.

Основу такой интеллектуальной образовательной инструментальной среды составляют: набор компонентов, позволяющих конструировать интерфейс пользователя; средства компилирования компонентов с использованием некоторого языка высокого уровня; процессор вывода; система управления базой знаний.

Методическое наполнение интеллектуальной инструментальной образовательной среды: лекционный материал (видеолекции или электронные учебные пособия); веб-виртуальное поле дисциплины, представляющее собой совокупности знаний для данной

дисциплины; виртуальные лабораторные стенды, в том числе созданные сторонними учебными заведениями; генераторы учебных отчетов с соблюдением стандартов университета; база знаний, содержащая фиксированную часть (ЗУНы дисциплины/курса) и переменную часть (история обучения группы, обучающегося, действия преподавателя, сгенерированные решения и т. п.); консалтинговый модуль, построенный по технологии экспертной системы. При этом такая инструментальная среда позволяет поддерживать и развивать саму интеллектуальную инструментальную образовательную среду дисциплины.

Библиографический список

1. Надточий, И. Л. Программные системы с повышенной степенью интеллектуальности. Проектирование и реализация : учеб. пособие / И. Л. Надточий. Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2005. 87 с.

2. Надточий, И. Л. Интеллектуальная инструментальная среда дисциплины или курса при организации дистанционного обучения / И. Л. Надточий [Электронный ресурс] : тр. Третьей Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 26 февр. — 2 марта 2014 г. (ИТиС – 2014) : науч. электрон. изд. / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 156–158.

И. А. Нурмухаметов

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ СТУДЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Предложен подход к созданию системы мониторинга, анализа и прогнозирования образовательных процессов на базе дистанционного образования с использованием интеллектуальных систем электронного обучения, которая позволила бы не просто вести хронологическое накопление данных о ходе образовательного процесса, а была бы способна управлять процессом приобретения необходимых компетенций. Такой подход должен учитывать опыт ведущих российских и зарубежных университетов по созданию и внедрению аналогичных электронных систем.

Введение. В статье предложен подход к созданию интеллектуальной системы мониторинга, анализа и прогнозирования образовательных процессов с применением интеллектуальных систем электронного обучения (ИСЭО), которая позволила бы не просто вести хронологическое накопление данных о ходе образовательного процесса, а была бы способна управлять процессом приобретения необходимых компетенций. Такой подход должен учитывать опыт ведущих российских и зарубежных университетов по созданию аналогичных систем.

Цель исследования:

- повышение эффективности контроля за приобретением компетенций в процессе обучения;
- повышение уровня осваиваемых компетенций с помощью создания интеллектуальных систем (ИСЭО) мониторинга и анализа знаний и навыков обучаемого;
- разработка ИСЭО, обладающей способностью прогнозировать результаты образовательного процесса (успеваемость, качество приобретаемых компетенций) на основе получаемой, в он-лайн режиме, информации об активности обучаемого.

Задачи исследования:

- отслеживание индивидуальной образовательной траектории обучаемого с помощью ИСЭО;
- прогнозирование дальнейшей образовательной траектории обучаемого;
- прогнозирование результатов обучения;
- управление и корректировка образовательных траекторий обучаемых на основании полученных данных ИСЭО;
- анализ эффективности и доступности освоения учебного материала;
- с помощью ИС возможно поднять уровень ЭО на принципиально иной качественный уровень; это представляется возможным и с помощью мониторинга активности обучаемого (непосредственно в реальном времени) в процессе самого обучения.

Свойства и особенности интеллектуальных систем на примере программных продуктов, таких как Knewton. Нужно отметить, что ИС — это, своего рода, «сталкер» в мире образовательной информации как для обучаемого, так и для преподавателя. Одной из наиболее известных и распространенных систем

со схожими функциями и возможностями является Knewton.

Методология Knewton строится вокруг двух основных понятий: технологии планирования образовательной траектории и сложной модели оценки студента.

Очевидно, что сегодня все образовательные организации работают только с «малыми данными». Это связано с тем, что в образовательных организациях отсутствует специальная электронная среда, которая содержит много онлайн-контента и как следствие — большое количество взаимодействий пользователей с этим контентом и между собой относительно него. По сути дела, с большими данными работают авторы онлайн-курсов, электронного обучения.

Лидер использования данных применительно к образовательной деятельности — компания Knewton (США). Она работает с пятью типами данных:

- персональные данные;
- данные о взаимодействии пользователя с электронной системой и друг с другом (показатели отказов, скорости просмотра страниц, возвраты к страницам, количество связей, расстояние связей, количество просмотров страниц одним пользователем и т. д.);
- данные об эффективности учебных материалов (какой тип ученика с какой частью контента взаимодействует, результаты взаимодействия, образовательные результаты и т. д.);
- административные (общесистемные) данные (посещаемость, пропуски по болезни, количество проведенных уроков и т. д.);
- прогнозные (предполагаемые) данные (какова вероятность участия ученика в той или иной деятельности, какова вероятность выполнения задания и т. д.).

Эти пять типов данных расположены в порядке усложнения их появления и архитектур баз данных, в которые они попадают.

Адаптивное обучение в понимании Knewton должно реагировать в реальном времени на результаты каждого студента и на его действия в сети. Этот подход увеличивает вероятность того, что студент получит правильный образовательный контент в нужный момент и достигнет поставленных перед собой целей. К примеру, если студент плохо справляется с определенным набором вопросов, то Knewton смо-

жет предположить, какие темы, затронутые в этом списке вопросов, оказались непонятными и предложить ему контент, который поможет повысить уровень понимания именно этих тем.

Анализ «больших» данных. Во-первых, анализ данных позволяет работать с индивидуальными программами обучающихся, персонализировать обучение. Данные показывают, какой тип ученика с какой частью контента взаимодействует, как происходит это взаимодействие, где он проявил интерес, а где ему было скучно, с кем и как он взаимодействовал в процессе обучения, как прохождение того или иного курса повлияло на образовательные результаты, на каком этапе обучения ему нужна помощь. Обучение становится адаптивным.

Во-вторых, образовательная аналитика на основе данных меняет представление о формате образовательных программ. Все тексты, используемые в образовательном процессе, могут быть не только оцифрованы, но и датифицированы, то есть текстовые файлы переводятся в числовые данные. Пользователи свободно двигаются по контенту, после осуществляется анализ того, как пользователи взаимодействовали с материалом: что оказалось эффективным, что неэффективным. Результат такой аналитики — изменение контента. Поэтому образовательная программа превращается из формата утверждаемого текста в формат некоторой совокупности онлайн-контента, которая динамически изменяется через анализ данных, появляющихся в результате взаимодействия с онлайн-контентом обучающихся. Появляется так называемая «умная программа», «умный учебный план». Возможно, что программы учебных курсов также претерпят изменения: они могут стать метапредметными.

В-третьих, изменение подходов к мониторингу и оценке как самого образовательного процесса, так и образовательных результатов. Мониторинг становится постоянным. Заинтересованность учеников в постоянном мониторинге связана с тем, что анализ данных позволяет сделать его учебный план индивидуальным, заинтересованность учителей связана с возможностью получения информации о продуктивных группах, обратной связи от учащихся к создаваемому контенту (интересно/не интересно, сложно/легко и т. д.), для руководителей — эффективное распределение ресурсов.

Оценка образовательных результатов может быть самостоятельной и/или коллективной, агрегированной на основе всех данных ученика, полученных из всех взаимодействий. Оценка осуществляется для того, чтобы грамотно расширить образовательную программу ученика. Динамика образовательных результатов фиксируется постоянно, на основе этих данных формируются паттерны (повторяющиеся шаблоны), по которым можно судить о развитии ученика.

В-четвертых, составной частью образовательной аналитики станут новые методы: прогноз, когда ком-

бинация известных данных позволит прогнозировать искомое неизвестное; метод выявления структуры и кластеризация; сетевой анализ.

Методы интеллектуального анализа. Использование прогноза потребует разработки алгоритмов. К примеру, зная предыдущие образовательные результаты, можно сделать прогноз, способен ли ученик решить следующую задачу и с каким результатом. Опираясь на анализ данных о том, как взаимодействовал ученик с он-лайн контентом, можно определить, что ему будет интересно на следующем этапе.

В отличие от прогноза, где известно, что нужно определить, метод выявления структуры используется для определения неизвестных паттернов и последующей кластеризации данных.

Кроме того, необходимо определить критерии для осуществления анализа, что в дальнейшем позволит произвести оценку поступающих в систему данных.

Критерии:

- интенсивность или производительность (способность обучаемого освоить определенный объем информации за определенный период времени);
- объем освоенных знаний;
- скорость освоения материала;
- активное время обучения (самостоятельное выполнение материала);
- пассивное время обучения (при прослушивании лекций, презентаций);
- время простоя (нулевая активность);
- неоднородность информации;
- время перехода между темами;
- качество (промежуточная оценка знаний после каждой промежуточной единицы знаний, бально-рейтинговая система, компетенции);
- промежуточные тесты (после каждого раздела);
- количество терминов и понятий;
- практическое применение теоретических знаний для решения практических задач;
- исследовательская, научная активность студента.

Модульность. Модуль (во временном аспекте) — структурированная часть учебного года, в пределах которой в концентрированной форме изучается одна или несколько образовательных программ или их законченных разделов. Модуль включает в себя все виды учебной работы и завершается промежуточной аттестацией. ИСЭО необходимо отслеживать параметры по двум направлениям: аналитика курса (аналитика качества учебного материала) и аналитика студента (аналитика и прогнозирование успешного обучения студента).

Заключение. ИС позволяют нам:

- «на входе» (начало обучения) в систему проанализировать уже имеющийся уровень знаний обучаемого;
- вести промежуточный мониторинг уровня знаний обучаемого и адекватность воспринимаемой им информации;
- анализировать получаемые данные;

– прогнозировать отрицательный или положительный результат «на выходе» (конец обучения).

Алгоритмы и инструменты ИС позволяют выявлять негативную динамику образовательной траектории обучаемого, обнаружить пробелы, скорректировать их и продолжить обучение, ориентируясь на данные системы прогнозирования. Пройдя рекомендованным путем, обучаемый получит весь спектр компетенций и навыков, а вуз существенно сократит отчисляемость студентов благодаря своевременному прогнозированию результатов образовательного процесса каждого студента.

Библиографический список

1. Акимов, В. А. Использование балльно-рейтинговой системы оценки успеваемости студентов в БПГУ

имени В.М. Шукшина / В. А. Акимов, К. Н. Падюков, М. М. Прудникова // Качество образования: системы, технологии, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2007. С. 375–377.

2. Еременко, Ю. И. Автоматизация решения задачи учета взаимной зависимости содержания дидактических единиц при составлении учебных планов / Ю. И. Еременко, А. И. Глущенко // ИнВестРегион. 2008. № 4. С. 64–67.

3. Свит, Е. П. Опыт использования модульной технологии обучения студентов / Е. П. Свит, П. П. Свит // Качество образования: системы, технологии, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2007. С. 374–375.

Г. А. Саитова, И. И. Сабитов, Е. А. Халикова

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОСВЯЗНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ С ТРЕБУЕМЫМИ ЗАПАСАМИ УСТОЙЧИВОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований
(14-08-97056 p_поволжье_a, 14-08-01019 А, 15-08-01146 А)

Рассматривается программное обеспечение для проектирования многосвязных систем автоматического управления, с помощью которого осуществляется анализ устойчивости, синтез регуляторов и характеристик связей систем. Представлены структурная схема программного средства, назначение и алгоритмы функционирования составляющих модулей пакета. Приводится пример синтеза регуляторов с использованием разработанного программного средства.

Введение. Современные сложные динамические объекты (СДО) разнообразной физической природы представляют собой комплексы подсистем, взаимосвязанных и взаимодействующих друг с другом. Примерами таких объектов являются газотурбинные двигатели, летательные аппараты, энергетические комплексы, синхронные генераторы и т. д.

Как правило, СДО являются нелинейными и многосвязными. В процессе их функционирования на различных режимах работы изменяются динамические характеристики как самих сепаратных подсистем, так и связей между ними [1], поэтому современные системы управления СДО необходимо разрабатывать в классе многосвязных систем автоматического управления (МСАУ). Необходимо автоматизировать процессы анализа и синтеза для обеспечения принятия решения при проектировании МСАУ СДО. В статье для решения этой задачи предлагается

информационное обеспечение для проектирования МСАУ с учетом требуемых запасов устойчивости.

Описание информационного обеспечения. Современная вычислительная техника предоставляет возможность автоматизировать процесс анализа и синтеза МСАУ СДО, а результаты представлять в удобном для последующего анализа виде. Предложенное программный продукт обеспечивает: синтез СДО путем задания его структуры и динамических параметров как индивидуальной характеристики многосвязного объекта управления, так и многомерного элемента связи [1]; синтез линейного ПИ-регулятора с учетом влияния связей в многомерном объекте, обеспечивающего требуемые запасы устойчивости по фазе или по амплитуде; моделирование процесса функционирования синтезированной МСАУ СДО; определение запасов устойчивости по фазе и по амплитуде в синтезированной МСАУ СДО [2].

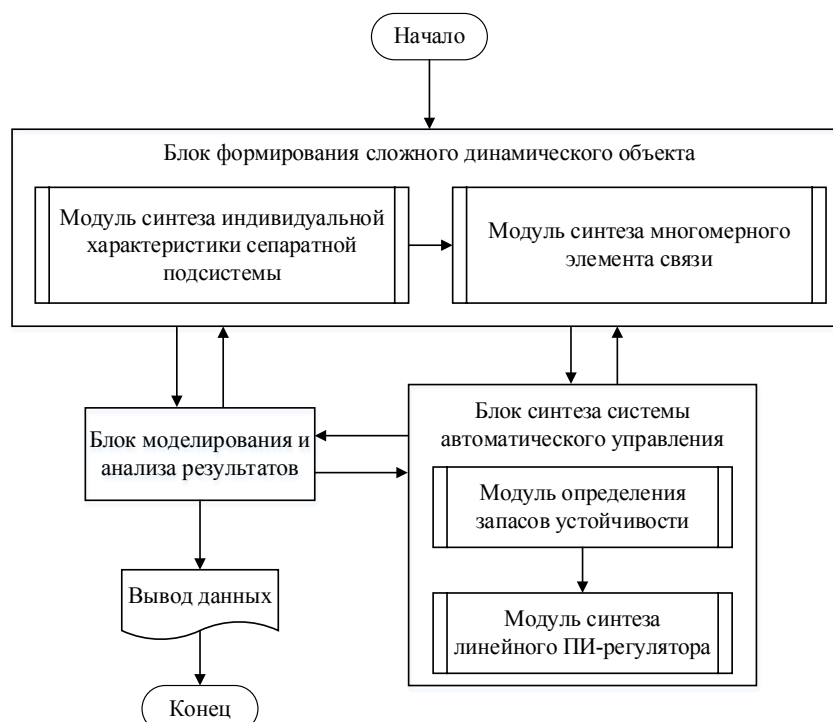


Рис. 1. Структурная схема программы синтеза МСАУ СДО

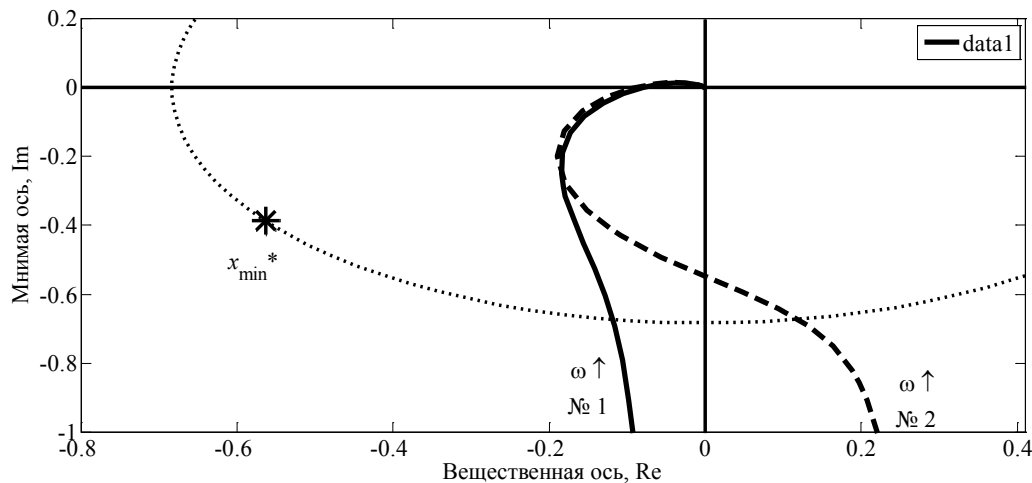


Рис. 2. Амплитудно-фазо-частотная характеристика сепаратной подсистемы

Разработанное информационное обеспечение включает в себя несколько взаимосвязанных блоков, реализующих определенную функциональную операцию, направленную на анализ и синтез МСАУ СДО с линейными пропорционально-интегральными (ПИ) регуляторами в сепаратных подсистемах. Общая структурная схема представлена на рис. 1.

В блоке формирования сложного динамического объекта описываются структурные и параметрические характеристики многосвязного объекта управления на основе динамических характеристик сепаратных подсистем и многомерных элементов связей между ними [3], что позволяет отличать как одну подсистему от другой (путем введения индивидуальной характеристики подсистемы), так и один элемент связи от другого (путем введения характеристики связи).

Таким образом, данный подход позволяет анализировать системы любой размерности и наглядно показывает влияние на устойчивость и качество функционирования, как динамических свойств сепаратных подсистем МСАУ, так и связей между ними, что позволяет в полной мере учесть структурные особенности данного класса объектов [1].

Блок формирования системы автоматического управления предоставляет возможность провести синтез линейного ПИ-регулятора, обеспечивающего заданные запасы устойчивости по фазе $\varphi_{\text{ТРЕБ}}$ и по амплитуде $\theta_{\text{ТРЕБ}}$ [2].

Методика расчета параметров ПИ-регулятора относительно требуемого запаса устойчивости по амплитуде $\theta_{\text{ТРЕБ}}$ или по фазе $\varphi_{\text{ТРЕБ}}$ состоит из нескольких этапов:

- расчет параметров ПИ-регулятора частотными методами для одномерной системы с учетом заданного запаса устойчивости по амплитуде $\theta_{\text{ТРЕБ}}$ или по фазе $\varphi_{\text{ТРЕБ}}$;
- коррекция рассчитанных параметров ПИ-регулятора (рис. 2) к многосвязному объекту на основе модифицированных корней связи [2].

Блок моделирования предоставляет возможность оценить текущие показатели качества функционирования МСАУ СДО.

Программный продукт был разработан в пакете Matlab, который среди существующих систем явля-

ется наиболее подходящим для реализации предложенных частотных методов анализа и синтеза МСАУ с учетом требуемых запасов устойчивости частотными методами.

Пример. Рассмотрим пример использования разработанного информационного обеспечения для проектирования гомогенной трехсвязной системы автоматического управления СДО.

Матричная передаточная функция СДО:

$$W_{\text{оу}}(s) = \frac{1}{0,25s^2 + s + 1} \begin{bmatrix} 1 & -0,4 & 0,5 \\ 0,7 & 1 & -0,3 \\ 0,5 & -0,6 & 1 \end{bmatrix}.$$

Требуется разработать ПИ-регуляторы, обеспечивающий запас устойчивости по амплитуде $\theta_{\text{ТРЕБ}} \geq 15$ и по фазе $\varphi_{\text{ТРЕБ}} \geq 55^\circ$ для каждой сепаратной подсистемы.

На рис. 3 представлен результат синтеза линейного ПИ-регулятора для сепаратных подсистем МСАУ СДО с учетом требуемых запасов устойчивости по амплитуде $\theta_{\text{ТРЕБ}}$ и по фазе $\varphi_{\text{ТРЕБ}}$ с помощью разработанного программного продукта, а на рис. 4 — графики переходных процессов синтезированной МСАУ.

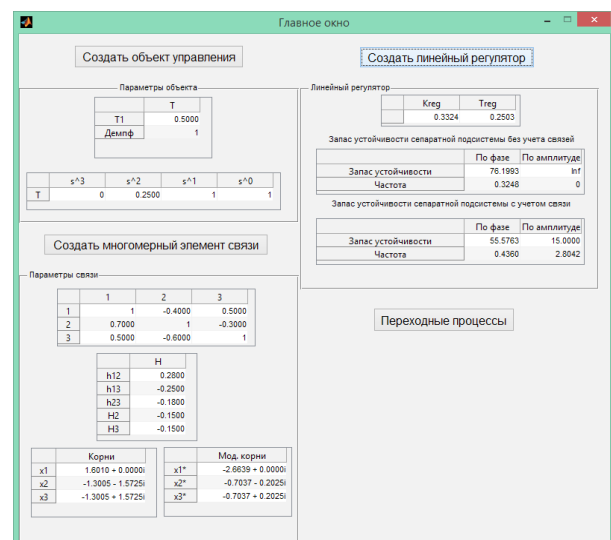


Рис. 3. Главное окно программы с результатами синтеза МСАУ СДО

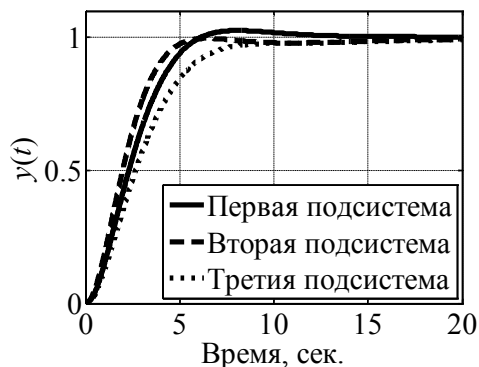


Рис. 4. Графики переходных процессов синтезированной МСАУ СДО

Закключение. Таким образом, разработано информационное обеспечение для проектирования МСАУ СДО, достоинствами которого являются:

- учет структурно-параметрических особенностей многосвязных объектов управления и влияния сепаратных подсистем через перекрестные связи в многосвязном объекте управления при синтезе регуляторов;
- простота использования, заключающаяся в интуитивно понятном интерфейсе, что не требует до-

полнительного обучения пользователя для работы с ним;

- сокращение времени проектирования многосвязной системы автоматического управления сложным динамическим объектом за счет автоматизации анализа и синтеза.

Библиографический список

1. Ильясов, Б. Г. Системный подход к исследованию многосвязных систем автоматического управления на основе частотных методов / Б. Г. Ильясов, Г. А. Саитова // Автоматика и телемеханика. 2013. № 3. С. 173–191.
2. Ильясов, Б. Г. Анализ запасов устойчивости гомогенных многосвязных систем автоматического управления / Б. Г. Ильясов, Г. А. Саитова, Е. А. Халикова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. X Междунар. конф. Самара, 2008. С. 143–148.
3. Оптимизация многомерных систем управления газотурбинных двигателей летательных аппаратов / под общ. ред. А. А. Шевякова, Т. С. Мартыановой. М. : Машиностроение, 1989. 256 с.

О. Н. Сметанина, Т. В. Наумова, М. М. Гаянова

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОДХОДА К ОБЕСПЕЧЕНИЮ УПРАВЛЕНИЕМ УРОВНЯ ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СТУДЕНТОВ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Результаты исследований частично поддержаны грантами № 15-07-01563-а, 13-07-00273-а

Рассматриваются вопросы разработки моделей для системы поддержки принятия решений при управлении уровнем физического развития студента, а также ее структурной схемы. Приведены фрагменты программной реализации подхода к обеспечению информационной поддержки принятия решений при управлении уровнем физического развития студента.

Введение. Авторами ранее предложен подход к обеспечению информационной поддержки принятия решений при управлении уровнем физического развития студента [1; 4–5] и проведен анализ программных решений по оценке уровня физического развития человека [1].

Анализ информационных систем, разработанных специалистами вузов позволил сделать вывод о том, что недостаточно исследованы и программно реализованы комплексные подходы к организации информационной поддержки принятия решений при управлении уровнем физического развития студента.

В статье рассмотрены вопросы моделирования системы поддержки принятия решений (СППР) при управлении уровнем физического развития студента, которая отличается от известных тем, что управление обеспечивается комплексно с учетом таких факторов, как профессиональная прикладная физическая подготовка, начальный уровень физического развития студента, отсутствие/наличие заболевания, результатов сданных нормативов. Также приведены фрагменты программной реализации предложенного подхода к обеспечению информационной поддержки принятия решений при управлении уровнем физического развития студента.

Моделирование СППР при управлении уровнем физического развития студента. СППР при управлении уровнем физического развития студента разрабатывается с целью обеспечения ЛПР информационной поддержкой для повышения эффективности управленческой деятельности.

Пользователями системы являются лица, принимающие решение (ЛПР): преподаватели кафедры физического воспитания, в том числе и ответственные за физическую подготовку на факультете, студенты. С системой на разных этапах ее жизненного цикла также работают эксперт и администратор.

Для СППР при управлении уровнем физического развития характерными являются следующие функции (для преподавателя):

- хранение данных о студентах (ФИО, направление подготовки, достижения в спорте, группа, секция, заболевание (если есть), результаты тестирования, базовое

образование, место получения базового образования, факультет, номер зачетной книжки, посещение);

- ведение базы данных (создание новых записей, удаление записей, редактирование записей);

- хранение математических моделей и ведение базы моделей;

- хранение базы знаний (в виде продукционных правил о допустимых видах спорта для конкретных заболеваний, о допустимых физических упражнениях при конкретных заболеваниях, о требуемых упражнениях и нагрузках для текущего уровня сданных нормативов) и ведение базы знаний;

- распределение студентов по секциям;

- планирование занятий на период (неделя, месяц) с учетом сданных нормативов;

- мониторинг текущих результатов;

- корректировка плана занятий;

- разграничения доступа к данным в соответствии с должностными обязанностями (студент только к своим данным; преподаватель — к данным студентов, посещающих его секции; преподаватель, отвечающий за физическую подготовку студентов на факультете — к данным студентов факультета; администратор — к любым данным);

- формирование отчетов о посещениях, сданных нормативах, полученных зачетах.

Для студента разрабатываемая СППР должна обеспечить получение рекомендаций по выполнению физических упражнений (комплекс, нагрузка) как для занятий дома, так и в вузе. Каждый из пользователей должен иметь возможность зарегистрироваться в системе. Формальное представление СППР при управлении физическим развитием студента выглядит следующим образом: $DSS = \langle DB, MB, KB, M, A \rangle$, где DB — база данных; MB — база моделей; KB — база знаний; M — множество методов обработки информации и получения решения (алгоритмы, правила логического вывода); A (*Actor*) — множество ролей: пользователь, в том числе и ЛПР, студенты и преподаватели, эксперт, администратор. Формальное описание возможного использования системы пользователями представлено с помощью диаграммы вариантов использования (рисунок).

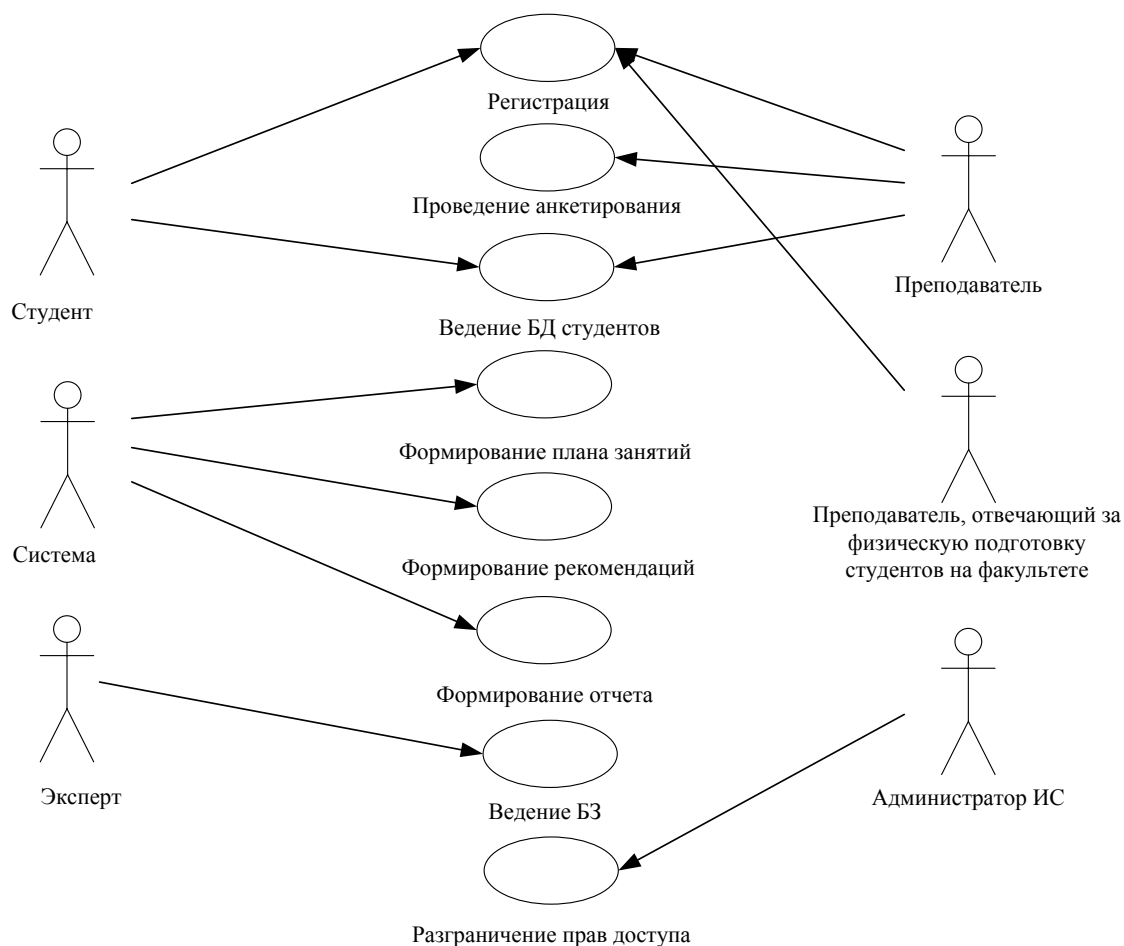


Диаграмма вариантов использования

Структура СППР при управлении уровнем физического развития студента для обеспечения ЛПР информационной поддержкой включает:

- базу данных (БД) для хранения данных о студентах и соответствующий модуль пополнения;
- базу знаний (БЗ) в виде онтологии для хранения знаний о взаимосвязи между возможными заболеваниями, видами спорта, нормативами, нагрузками, комплексами упражнений и пр.;
- БЗ в виде продукционных правил, полученных на основе анализа;
- базу моделей (БМ) для хранения математических моделей;
- модуль предварительной обработки информации, который используется, например, при обработке анкет;
- модуль интеллектуального анализа данных, позволяющий осуществить поиск закономерностей в накопленной информации о студентах (результаты анализа закономерностей позволяют сформировать продукционные правила, которые заносятся в базу знаний [6]);
- получения решения;
- модуль формирования планов занятий, рекомендаций и отчетности, блок управления модулями.

Пользователи системы осуществляют взаимодействие через интерфейс.

Программное обеспечение задачи формирования комплекса физических упражнений для повышения уровня физического развития студента. Для программной реализации прототипа СППР при управлении уровнем физического развития студента выбрана интегрированная среда разработки программного обеспечения MS Visual Studio 2010 и интеллектуальная платформа управления данными MS SQL Server для проектирования и отладки базы данных. Разработанная база данных включает следующие таблицы: виды спорта, комплекс упражнений, нормативы, пол, преподаватели, результаты сдачи нормативов, спортивные секции, студенты, и др.

Приведем фрагмент описания базы данных:

```

/*таблица студенты*/
CREATE TABLE stud
(id_stud int Identity (1,1) Primary key,
id_pol int,
id_sgroup int,
fam VarChar(60),
name VarChar(60),
otch VarChar(60),
uchgroup VarChar(10),
logan VarChar(10) UNIQUE,
pass VarChar(10),
sred_ball float);
  
```

Разработанная таблица нормативов [1] содержит контрольные тесты оценки физической подготовленности студентов (мужчины и женщины) основного и спортивного учебных заведений. Приведем фрагмент таблицы нормативов:

```
insert into pol (pol)
values
('женский'),
('мужской');
insert into norm (norm)
values
('бег 100м(с)'),
('бег 3000м(мин.,сек)'),
('бег 2000м(мин.,сек)'),
('прыжки в длину с места(см)'),
('подтягивание на перекладине(раз)'),
('поднимание туловища(раз)');
```

Разработанные комплексы упражнений учитывают особенности физической подготовки, связанные с профессиональной прикладной физической подготовкой, видами спорта, группами болезней, типами спортивных секций, наиболее часто встречающимися заболеваниями студентов. Приведем фрагмент описания комплексов:

```
INSERT INTO complex
(id_comp, comp)
VALUES
(1,'Общий'),(2,'Комплекс2'),(3,'Комплекс3'),(4,'Комплекс4'),(5,'Комплекс5'),(6,'Комплекс6'),(7,'Комплекс7'),(8,'Комплекс8'),(9,'Комплекс9'),(10,'Комплекс10'),(11,'Комплекс11'),(12,'Комплекс12');
GO
INSERT INTO bol_gr
(id_bg,bg)
VALUES
(1,'Кардиоресп.,пищевар.,эндокрин. '),
(2,'ОДА,периф.,нервн.сист. '),
(3,'Слух,зрение'),
(4,'ЦНС');/**/
```

Заключение. Разработанная программная реализация позволяет формировать комплекс упражнений для студента, план занятия и отчет, позволяющие наиболее эффективно управлять уровнем физической подготовки студентов.

Библиографический список

1. Сметанина, О. Н. Алгоритмическое обеспечение для интеллектуальной поддержки принятия решений при управлении уровнем физического развития студентов / О. Н. Сметанина, М. М. Гаянова, Т. В. Наумова, Р. Р. Исламова // Вестн. УГАТУ. 2013. Т. 18, № 5 (66). С. 175–180.
2. Гузаиров, М. Б. Информационное, математическое и программное обеспечение поддержки решений при отборе претендентов / М. Б. Гузаиров, О. Н. Сметанина, Д. Ф. Сафиуллина, А. М. Маркушева // Вестн. УГАТУ. 2013. Т. 18, № 5(66). С. 185–191.
3. Guzairov, M. B. Ontological approach to the knowledge management system development in providing industrial safety / М. В. Guzairov, N. I. Yusupova, N. S. Minasova, V. Yu. Penzina // Вестн. УГАТУ. 2013. Т. 17, № 6 (59). С. 13–20.
4. Сметанина, О. Н. Информационная поддержка решений при управлении уровнем физического развития студента / О. Н. Сметанина, М. М. Гаянова, Т. В. Наумова // Информационные технологии и системы [Электронный ресурс] : тр. Третьей Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 26 февр. — 2 марта 2014 г. (ИТиС – 2014) : науч. электрон. изд. / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 108–110.
5. Сметанина, О. Н. Подход к обеспечению поддержки решений при управлении уровнем физического развития студента / О. Н. Сметанина, Т. В. Наумова // Информационные технологии интеллектуальной поддержки решений : тр. Междунар. конф. Уфа : Изд-во Уфим. гос. авиац. техн. ун-та, 2013. Т. 3. С. 1–4.
6. Юсупова, Н. И. Программное обеспечение СППР при управлении образовательным маршрутом в рамках академической мобильности / Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, А. В. Климова // Интеллектуальные технологии обработки информации и управления : тр. Междунар. конф. Уфа : Изд-во Уфим. гос. авиац. техн. ун-та, 2014. Т. 1. С. 180–184.
7. Smetanina, O. N. Models of education quality estimation based on fuzzy Classification / O. N. Smetanina, Z. V. Maximenko, A. V. Klimova // Вестн. УГАТУ. 2013. Т. 17, № 6 (59). С. 53–56.
8. Сметанина, О. Н. Модели и программный комплекс для реализации информационного поиска при поддержке управленческих решений [Электронный ресурс] / О. Н. Сметанина, Н. И. Юсупова, С. П. Ясинецкий, А. В. Климова // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/115-11955> (дата обращения: 04.02.2014).
9. Гузаиров, М. Б. Инструментарий нейронных сетей при поддержке принятия решений по управлению образовательным маршрутом / М. Б. Гузаиров, Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, Н. И. Галеева // Нейро-компьютеры: разработка, применение. 2013. № 3. С. 21–26.
10. Ильясов, Б. Г. Интеллектуальная информационная система поддержки процедур управления воспроизводственным процессом / Б. Г. Ильясов, Е. А. Макарова, А. Н. Павлова // Программные продукты и системы. 2010. № 1. С. 88–90.
11. Черняховская, Л. Р. Интеллектуальная поддержка принятия решений в организационном управлении разработкой программных проектов / Л. Р. Черняховская, А. И. Малахова // Вестн. УГАТУ. 2013. Т. 17, № 5(58). С. 195–199.

12. Черняховская, Л. Р. Онтологический подход к разработке системы поддержки принятия решений с использованием информационного банка данных наукоемких технологий Республики Башкортостан [Электронный ресурс] / Л. Р. Черняховская, В. Кружков, Ф. Дикова // Информ. ресурсы России. 2009. № 1. URL: http://www.aselibrary.ru/digital_resources/journal/irr/2009/number_1/number_1_5/number_1_5917 (дата обращения 10.10.2014).

13. Лукьянов, Б. Г. Информационная система управления процессом физического развития молодежи с учетом индивидуальных особенностей : автореф. ... дис. : 05.13.10 / Б. Г. Лукьянов. Уфа, 2002. 16 с.

14. Неустроев, С. Л. Информационная поддержка управления процессом улучшения здоровья индивидуальными физическими упражнениями : автореф. дис. : 05.13.10 / С. Л. Неустроев. Уфа, 2010. 16 с.

О. Г. Старцева, А. В. Парфирьев, Д. Р. Богданова

ПОСТРОЕНИЕ ИТ-ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Рассмотрено построение ИТ-инфраструктуры образовательного учреждения для организации дистанционного обучения в виде модулей. Особое внимание уделено оптимизации информационной структуры. Описаны основные подходы к построению центра обработки данных.

Дистанционным обучением в век информационных технологий занимается большое количество организаций, выполняющих образовательную деятельность, например, высшие учебные заведения, колледжи, образовательные центры и т. д. Также имеет большое развитие информационная сеть, предназначенная для учебных заведений и позволяющая создать единый банк знаний — RUNNet, которая на данный момент объединяет 25 региональных сегментов, распределенных локально по всей России.

Министерство образования Российской Федерации ведет разработку и частичное внедрение дистанционного образования, что, с одной стороны, упрощает жизнь желающим получить образование из других стран или городов, а с другой стороны — становится сложнее проводить контроль над полученными знаниями, потому что очного взаимодействия почти не происходит.

Дистанционное образование — это большой комплекс взаимосвязанных элементов, который позволяет обучаемым постигнуть тайны предмета, предлагаемого для изучения путем дистанционного образования (образования на расстоянии). Тем самым дистанционное обучение требует многоуровневой, многофункциональной и расширяющейся инфраструктуры, чтобы развивалась «База знаний» и повышалось качество образования.

ИТ-инфраструктуру, отвечающую требованиям дистанционного образования, можно представить в виде взаимосвязанных частей — модулей.

Первый, или наивысший модуль, описывает основные процессы, можно сказать, показывает основные точки стратегии предоставления доступа к банку знаний. На втором уровне формируются точно построенные задачи, которые затем переносятся на ИТ-инфраструктуру, определяется стек приложений, необходимых для решения наиболее необходимым задач, задаются алгоритмы их взаимодействия. Третий уровень структурирует — «убирается» в процессах управления информационными потоками и их жизненного цикла.

В качестве основы, или четвертого уровня, выступает техническая архитектура («техническая база»), то есть совокупность серверного оборудования, система хранения данных (СХД) и телекоммуникационного оборудования, которая, в конечном

счете, предоставляет вычислительные ресурсы, необходимые для решения проблем, возникающих в ходе обучения (доставка лекционного материала, доступ к электронной библиотеке, консультация с преподавателем).

В информационной индустрии существует набор отлично известных и проверенных на практике методик, позволяющих использовать и гибко планировать ИТ-инфраструктуру различных учреждений от бизнес направлений до розничной торговли.

Грамотно спроектированная инфраструктура — какая она? Первоначально нужно понять, что любое ИТ-направление существует не ради себя самого, а всегда находится на страже порядка (в нашем случае, на страже образования) и направляет эффективность выполнения требуемых задач (предоставление какого-либо рода информационного материала и т. д.). В первую очередь в такой инфраструктуре должно быть отлажено тесное и максимальным образом оптимизированное взаимодействие модулей, при чем на этом фоне оно должно быть очень строгим, чтобы не нарушать политики и методологии учебно-методической деятельности.

Большинство учебных заведений вынуждены исходить из долгосрочного предсказания своей деятельности, что в большинстве случаев приводит к неадекватности, а при наихудшем стечении обстоятельств к неэффективному предоставлению доступа к знаниям.

Информационная инфраструктура должна непрерывно расти и развиваться, что подразумевает развитие ИТ-структуры как отдельного организма, требующего все нового и нового, так как оборудование устаревает, потребности растут и требуют за максимально короткие сроки начать эффективную работу, отвечающую учебному плану. Качественно спроектированная информационная база позволяет узконаправленно следовать такой динамике. Эта идиллия во взаимоотношениях между образовательной деятельностью и информационной базой прослеживается далеко не всегда, потому что руководители учреждений уделяют мало финансовых вложений.

А что происходит у нас? Многие изначально пытаются угнаться за актуальными аспектами и с начала своей деятельности стремятся предусмотреть оптимизированную информационную структуру, отвечающую

их требованиям с возможности расширения, однако приходится сталкиваться с рядом стандартных проблем.

Эти проблемы уходят корнями в прошлое, когда информационная инфраструктура развивалась весьма хаотичным образом, что было обусловлено недоступностью готовых решений, отсутствием развитых компетенций, скудным рынком предложений IT-мира. Сейчас эта ситуация изменилась, но финансировать эту сторону руководство не стремится.

Строим технологическую часть инфраструктуры. В настоящий момент можно выделить три основных подхода к построению центра обработки данных (ЦОД). Первый, классический, заключается в оборудовании выделенного помещения с последующим размещением в нем программно-аппаратного комплекса для обеспечения функционирования IT-инфраструктуры и средств оптимизации. Параллельно создается свод организационных процедур и осуществляется набор персонала для поддержания необходимого уровня качества оказания информационных услуг. Большинство учебных заведений используют именно такой, исторически сложившиеся методы.

Второй, радикальный, подход — отказ от собственного ЦОД. Не так уж много учебных заведений, особенно в нашей стране, решаются полностью отказаться от размещения у себя значимых для образовательной деятельности частей IT-инфраструктуры, однако развитие облачных технологий все больше мотивирует переносить приложения в облака, перекладывая ответственность и всю головную боль по решению технических проблем с собственной головы на плечи сервисных компаний. При этом расходы на инфраструктуру и приложения в облаке (IaaS и SaaS) четко выражены в виде платы за подписку и сходятся к отметке реально потребляемых ресурсов.

По факту, передача эстафеты по строительству ЦОД в руки облачных компаний, к сожалению, не приводит к автоматическому решению фундаментальных архитектурных проблем. Эти проблемы просто меняют своих хозяев.

Таким образом, в недрах облачных провайдеров, ведущих борьбу за качество оказываемых услуг и за поддержание гарантированных уровней SLA, а также в учреждениях, желающих сохранить и далее эффективно развивать собственные ЦОД, зародился и окреп третий подход — модульный конвергентный ЦОД. В таком ЦОД вся инфраструктура представлена в виде относительно автономных блоков, взаимодействующих друг с другом на заранее разработанной унифицированной схеме с использованием общего стека стандартных протоколов. Модульный подход сочетает в себе преимущества первых двух — классического и облачного во многом избавлен и от недостатков.

Инфраструктура модульного ЦОД по-прежнему находится на площадках учебных заведений, но

изначально проектируется с учетом минимизации временных финансовых затрат, связанных со вводом в эксплуатацию и интеграцией с существующей средой.

Готовность такой инфраструктуры к развертыванию необходимых приложений достигается в кратчайшие сроки, практически с момента монтажа модуля, подключения к электропитанию и сети передачи данных. При этом, подобно варианту с облаком, обслуживание всего комплекса берет на себя компания-партнер, учебному заведению об этом не нужно беспокоиться — оно только озвучивает необходимые объемы ресурсов и функциональные возможности, а поставщик их обеспечивает.

Именно этот подход сегодня неуклонно набирает популярность и поддерживается многими крупнейшими вендорами.

Ключевое преимущество инфраструктуры модульных ЦОД, помимо скорости ввода в эксплуатацию, состоит в возможности гибкого расширения. Когда необходимо задействовать дополнительные мощности, например, в рамках задачи по автоматизации какого-либо нового учебного процесса, или предоставления песочницы для прохождения практического обучения, или запуска новой составляющей, приобретается модуль в виде переконфигурированной стойки — «коробки». Нужно в два раза больше ресурсов — рядом устанавливается еще один модуль.

В качестве третьего преимущества модульных ЦОД можно отметить тот факт, что инфраструктура такого типа идеально сочетается с концепцией программно-определяемого ЦОД и может служить фундаментом для его построения.

Индустрия уже по достоинству оценила технологии серверной виртуализации, позволяющие консолидировать вычислительные ресурсы отдельных физических серверов в общие пулы и программными средствами тонко распределять мощности между приложениями точно в том объеме, который им необходим. При этом ввод в эксплуатацию новых виртуальных серверов выполняется буквально в несколько кликов мышки.

Логическим следствием успеха серверной виртуализации является перенос применяемого в этой технологии подхода на остальные компоненты IT-инфраструктуры — системы хранения данных и сеть передачи данных.

В первом случае это программно-определяемое хранилище, где аналогичным образом в единые пулы с установленными уровнями обслуживания объединяются ресурсы хранения и происходит абстрагирование над конкретным оборудованием СХД.

Во втором случае на сцену выходит SDN — программно-определяемая сеть, где логическая топология и архитектура сети задается программного и полностью унифицировано поверх плоской физической

структуры. Конфигурация такой сети в значительно меньшей степени зависит от функциональных возможностей конкретного оборудования.

При этом построение SDN невозможно без использования конвергентных сетей. Необходимость в наличии двух независимых инфраструктур передачи данных, как например, отдельной для передачи IP-трафика и отдельной — для передачи трафика хранения, сводит на нет все преимущества, которые может дать SDN. Конвергентная сеть позволяет эффективно использовать одну и ту же инфраструктуру для разных типов данных уже сейчас и в тех задачах, где требуются самые высокие качественные показатели и жесткие требования к уровням задержек и скорости передачи.

Библиографический список

1. Забудь про СХД. Nutanix — революция в виртуализации [Электронный ресурс]. URL: <http://habrahabr.ru/company/advanserv/blog/214697>.
2. Развитие ИТ инфраструктуры университета [Электронный ресурс] / Д. В. Гмарь. URL: <http://www.myshared.ru/slide/826608/#>.
3. Машкин, М. Н. Информационные технологии : учеб. пособие / М. Н. Машкин. М. : ВГНА, 2008. 200 с.
4. Построение концептуальной модели информационной системы [Электронный ресурс]. URL: http://knowledge.allbest.ru/programming/2c0a65625b2bd78a4c43a88521206d27_0.html.

Г. А. Трубецкая, И. Л. Надточий

ИТ-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОСТИ ERP-СИСТЕМ

Исследуются вопросы внедрения интеллектуальных модулей в контур управления предприятиями, в контур ERP-систем. Целью разработки можно считать повышение степени интеллектуальности программного продукта и перехода на уровень соединения основ программной инженерии и инженерии знаний. Предлагается возможность подключения интеллектуального модуля в структуру ERP-системы.

При выборе комплексной системы автоматизации управления предприятием нередко возникает вопрос, в какой мере программная система должна быть готовым технологическим решением, а в какой — инструментом. На уровне предприятия в рамках выбранной ИТ-технологий инструментальная среда — это корпоративный конструктор или проблемно-ориентированное средство для разработки индивидуально спроектированных комплексных систем автоматизации управления.

Программная система с повышенной степенью интеллектуальности (ПС с ПСИ) — это программная система, которая позволяет находить разрешение ситуации или решение по запросам в соответствии с базами данных в рамках некоторой лексики, ограничений языка и с использованием ответов по уточнению запросов. Естественно, для разработки систем такого класса необходим соответствующий инструментарий. Технология, которую поддерживает такая инструментальная среда представляет собой набор методических и архитектурных концепций, правил моделирования и кодирования. Причем технология предназначена для поддержки процесса сквозной разработки программного обеспечения: от договора на обследование предприятия до получения программной системы.

Основной целью создания инструментальной среды (ИнСр) является поставить на поток разработку унифицированных автоматизированных информационных систем, на основе компонентной модели СОМ, а также библиотеки системных компонент и оригинальный кодогенератор программ на выбранном языке СОМ платформы NET.

Суть подхода состоит в том, что команда разработчиков, применяя объектную методологию ОМТ (Object Modeling Technique), создает проект системы, отражающий предметную область. Модель строится в графической нотации UML с помощью CASE инструмента COOL:Jex [1]. Этот инструмент предназначен для больших команд разработчиков. В его основе лежит репозиторий, в котором хранится абсолютно вся информация по проекту.

На основе построенной модели, дополненной некоторыми вспомогательными данными, автоматически генерируется модель базы данных, SQL-процедуры, необходимые для ее создания, а также заготовки исходных текстов программ на языке Visual Basic и экранных форм ввода/просмотра информации.

Заготовки программ автоматически генерируются таким образом, чтобы созданные на их основе программы соответствовали стандарту взаимодействия компонентов СОМ, а собранные вместе компоненты образовывали систему, построенную в трехуровневой архитектуре клиент-сервер. Интересно отметить, что генерируемые заготовки программ включают код, необходимый для поддержки транзакций на уровне бизнес-логики бизнес-процессов.

Действительно, прямо по графическим рисункам модели информационной системы автоматически порождается структура базы данных, заготовки экранных форм для ввода/просмотра данных и программные модули. Полученная на выходе система может использоваться совместно с любой СУБД, имеющей ODBC-драйвер и способной взаимодействовать, например, в среде Microsoft Transaction Server 2.0.

Другим подходом к разработке инструментальной среды для создания сложных информационных систем/ERP-систем можно считать модульный подход. Этот подход удобен для обеспечения требований предприятий к внедрения системы по этапам. В то же время такой подход дает возможность растянуть разработку системы определенный промежуток времени с параллельным введением в эксплуатацию модулей по мере их появления.

Естественно, что инструментальная среда позволяет создавать полностью готовые к эксплуатации модули ERP-систем. И это уже не конструктор, а набор законченных модулей, решающих учетные и управленческие задачи. При этом, если говорить о системе в целом, то она обладает достаточным уровнем гибкости и масштабируемости, что достигается за счет использования современных технологических подходов к инструментарию, а также за счет поддержки нескольких баз данных, ориентированных на предприятия разного размера. Например, модульный подход легко ложится на конвейерную организацию обработки информации, которая предполагает четкую технологию работы группы сотрудников с одновременным контролем ошибок и неоднозначности в процессе обработки документов.

Интеллектуализация комплекса управления предприятием в рамках ERP-системы данным случае будет означать:

— разработку и использование интеллектуальных моделей и моделирования при решении всех функци-

ональных задач на всех этапах жизненного цикла системы;

- распределение на каждом рабочем месте знаний между человеком и машиной для решения функциональных задач, закрепленных за рабочим местом, и соответствующим комфортной работе специалиста;

- проектирование не только объектов и процессов, но и параметризованных процедур их создания (процедурные модели);

- унификацию и формализацию процедур обработки знаний;

- использование баз знаний и интеллектуализацию принятия решений при проектировании и управлении производством;

- организацию непрерывного накопления (обучение и самообучение системы) знаний, используемых в бизнес-деятельности предприятия.

Индивидуализация означает организацию каждого рабочего места (оснащение программными средствами, формирование баз данных и знаний) ориентировано на конкретного специалиста.

В настоящее время эффективность компьютерной автоматизации предприятий определяется значительными успехами информационных технологий инжиниринга, базирующихся на достижениях новых информационных технологий и разрабатываемых в последние годы технологиях обработки и передачи информационных потоков: CALS, CASE, WEB, RAD, РДО и др.

Этапы технологии комплексной автоматизации предприятия при разработке ERP-системы можно представить следующим образом.

1. Осознание необходимости автоматизации предприятия. Целевое обследование профессиональными в этой области специалистами и анализ деятельности предприятия.

2. Синтез решений и принятие стратегии реинжиниринга предприятия.

3. Концептуальное проектирование состава и структуры ERP-системы предприятия. Разработка бизнес-плана.

4. Выбор инструментальной системы проектирования, проектирующей организации. Определение этапов создания ERP-системы.

5. Структурирование данных и знаний предприятия.

6. Формирование архитектуры системы, информационной среды.

7. Разработка интеллектуальной системы моделирования деятельности предприятия.

8. Выбор технических средств, покупных программных средств.

9. Техническое проектирование ERP-системы, формирование автоматизированных рабочих мест (АРМ), обучение персонала.

Дальнейшие этапы связаны с введением системы в эксплуатацию: поэтапный ввод системы, опытная подконтрольная эксплуатация, корректировка реше-

ний; опытная эксплуатация при консультации системных специалистов; рабочая эксплуатация системы, интеллектуальное моделирование деятельности предприятия с поиском дальнейшего перспективного развития; поэтапное развитие ERP-системы предприятия.

При разработке ERP-системы каждого предприятия особое значение имеют начальные этапы проектирования, завершающиеся этапом концептуального проектирования. От них в наибольшей степени зависят правильность и эффективность всех дальнейших разработок. В состав задач этих этапов входят: формирование целей и задач автоматизации, критериев и показателей, выбор направлений и основных положений автоматизации и реинжиниринга, проведение целевого обследования предприятия, определение финансовых возможностей и этапов реализации, составление бизнес-плана. Только на основании полученных решений и долгосрочного планирования возможен переход к этапу приобретения и разработки программно-технических средств. Опыт показывает, что большинство неудач связано с пренебрежением или поверхностным отношением к выполнению начальных этапов проектирования ERP-системы.

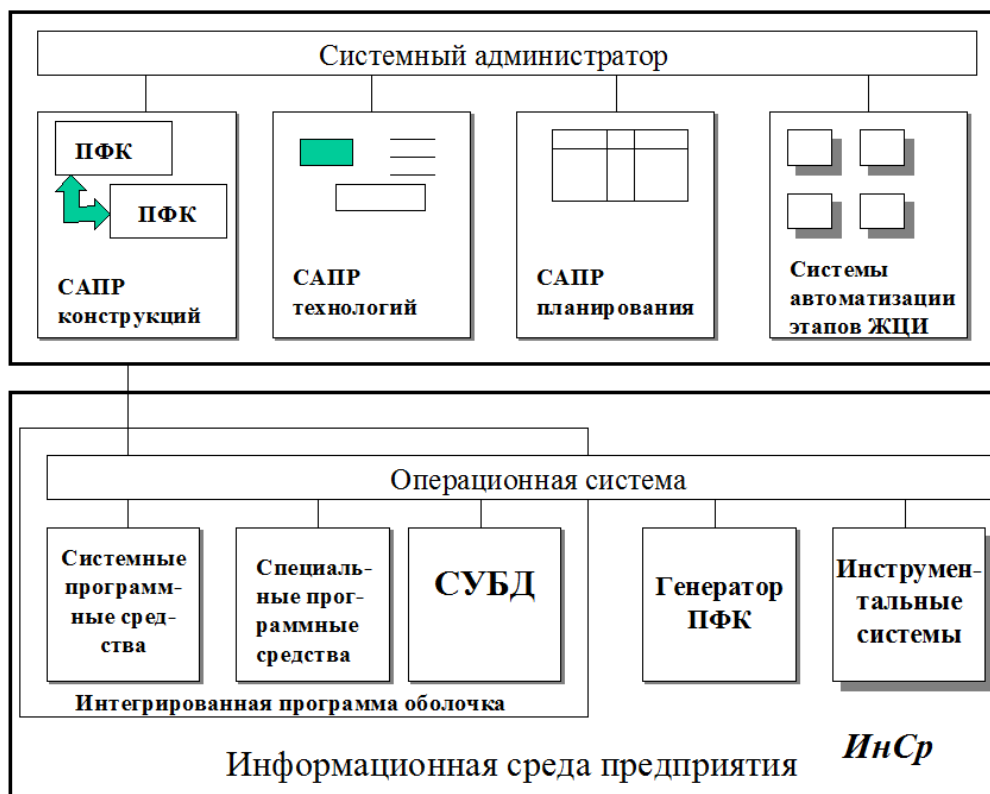
К выполнению начальных этапов концептуального проектирования должны быть привлечены независимые организации и эксперты, имеющие опыт выполнения подобных работ, проблемные специалисты предприятия и, для консультаций, специалисты фирм разработчиков систем комплексной автоматизации.

Состав системы, отвечающей перечисленным принципам, показан на рисунке. Основу ERP-системы составляют программно-функциональные компоненты (ПФК), позволяющие на основе унифицированных производственных правил и локальных баз данных решать определенные функциональные задачи автоматизации бизнес-деятельности предприятия, то есть ПФК можно считать некоторой интеллектуальной ячейкой, включающей знания и данные для решения функционально законченной инженерной или экономической задачи нижнего уровня.

При необходимости ПФК через общую операционную среду может получать данные от других ПФК или инициировать их функционирование. Механизм обращения к другим ПФК закладывается как в самом модуле, так и представлять из себя самостоятельный блок опроса и генерации сетей ПФК. В зависимости от принятой проектной процедуры, ПФК могут образовывать различные цепи. Цепь ПФК, соответствующая проектному решению с лучшими показателями, реализует процедурную модель проектирования.

При создании ERP-системы предприятия могут использовать отдельные программные пакеты, совместимые с единой средой ERP-система, для решения определенной функциональной задачи (например, пакет «метод конечных элементов»).

Такой пакет может входить в состав отдельных ПФК, то есть сложность ПФК может быть различной.



Состав ERP-системы предприятия

Совокупность ПФК, относящихся к решению определенной процедуры бизнес-деятельности предприятия, представляет собой прикладную систему автоматизации одного из этапов бизнес-деятельности предприятия, например, систему планирования, документирования, проектирования технологических процессов, диспетчеризации и т. п.

Правила формирования состояния объектов и ресурсов для их производства, определение их характеристик представляют собой совокупность инженерных знаний [2]. Такая обобщенная совокупность знаний представляет базу знаний конкретного производства. Для проектирования таких сложных, плохо формализуемых систем базы знаний включают, кроме декларативных и алгоритмических процедур, интеллектуальные знания в виде логико-лингвистических моделей.

Единая информационная среда предприятия строится на основе унифицированного представления и обмена данными и знаниями для всех компонент, входящих в ERP-систему, общей базе данных и моделей их обработки, соблюдения стандартов, позволяющих обмениваться информацией с внешними системами.

Если в функции ERP-системы предприятия входит и ее развитие, последняя может быть дополнена инструментальной программной системой предприятия.

Существенным является то, что на каждом этапе проектирования создается не только информационный образ элемента, но также параметризован-

ная процедура его проектирования. Это позволяет зафиксировать в базе знаний сам процесс создания нового объекта и использовать его для ускоренной технической подготовки и управления производством при выполнении заказа на производство изделия определенного класса. Вся техническая подготовка и управление производством изделия осуществляются на основе созданных процедур путем введения только данных о параметрах требуемого изделия.

ERP-система с повышенной степенью интеллектуальности уровня предприятия является непрерывно развивающейся системой. Однако вести поиск лучших направлений развития на действующем производстве весьма и весьма сложно. Поэтому одновременно с разработкой ERP-системы создается имитационная модель функционирования предприятия совместно с ERP-системой. Разработка ERP-системы ведется на языке, близком к естественному языку ИТ-специалистами и предметными специалистами предприятия. Специфическими для каждого предприятия являются база данных предприятия, инженерные знания, в виде процедур проектирования и управления, система документирования и др.

Поэтому ИТ-специалист обеспечивает ускоренное проектирование программной среды предприятия с помощью инструментальной среды (ИнСр), поддерживающей современные технологии программирования. Содержательное наполнение баз данных и знаний проводится силами специалистов предприятия. Такой подход позволяет оснастить каждое рабочее место инженера или управленца предприятия

программной поддержкой, в значительной степени используя накопленный опыт предприятия и инженерные знания конкретного специалиста.

Программная реализация интеллектуальных модулей или интеллектуальных программных систем в целом существенно зависит от способа представления знаний в системе или от структуры средств представления знаний.

Можно указать основные этапы создания программных систем с интеллектуальными модулями:

- формирование лексики или лексикона (как язык профессиональной прозы);
- конструирование интерфейса пользователя или эксперта как специалиста предметной области;
- выбор формы запросов;
- определение структуры базы знаний;
- настройка интеллектуального модуля на тип задачи;
- заполнение и отладка базы знаний.

Интерфейс между пользователем и ERP-системой несмотря на то, что внешне он обыкновенный, должен поддерживаться некоторым транслятором, который будет переводить запрос либо на вход, либо в какую-либо конструкцию, на некоторый формальный язык внутреннего представления логических зависимостей. Исследование процессов, которые реализуются интеллектуальным модулем, позволяет представить в виде иерархической структуры обработки информации [3; 4] по формуле

УПРАВЛЕНИЕ $\Rightarrow$ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ $\Rightarrow$
АНАЛИЗ $\Rightarrow$ МОНИТОРИНГ

Особенность, которую необходимо учитывать при работе со средствами представления знаний, является наличие декларативных и процедурных формы представления знаний.

Предложим краткую характеристика интеллектуальной инструментальной среды (ИнИнСр) для создания интеллектуальных модулей или систем как компонентов ERP-систем.

Технология использования инструментального обеспечения ИнИнСр может обеспечить следующие преимущества.

1. Совместимость на уровне собственных форматов файлов. Созданные с использованием ИнИнСр приложения могут читать файлы любых других программ, написанных на базе ИнИнСр, в их собственных форматах без использования «нейтральных» файлов или трансляторов.

2. Ассоциативность. Созданные с использованием ИнИнСр приложения ассоциативно совместимы с другими приложениями.

3. Надежность.

4. Использование интеллектуальных операций-фичерсов представляет особый при моделирование деятельности клиента. И в идеале ИнИнСр должна содержать в себе ядро моделирования, базирующееся на использовании операций-фичерсов (features). Использование такого ядра значительно упростит рабо-

ту по созданию компонент для моделирования, применяющих управление моделью на уровне фичерсов. В этом случае объекты-фичерсы становятся частью объектной модели ИнИнСр. В фичерсах содержится вся информация о клиенте. В целом приложения, созданные в ИнИнСр, могут «видеть» фичерсы и историю создания моделей непосредственно в данных ИнИнСр, принадлежащих другим приложениям.

Встроенные трансляторы. Для обмена данными с системами, не использующими ИнИнСр, должны быть предусмотрены двусторонние трансляторы, например, в известные в области проектирования форматы IGES, STEP, VDA и ACIS SAT. Кроме того, по определению ИнИнСр может читать без каких-либо трансляторов файлы приложений, созданных на базе данной ИнИнСр.

5. Современная архитектура и средства. ИнИнСр позволяют реализовать самое разнообразное взаимодействие с объектами посредством, например, Java, COM, а также C++.

На выходе из ИнИнСр модели являются потоком данных. Само приложение или модуль предоставляет функции внешнего (обратного) вызова для сохранения этих данных в каком-либо файле или в базе данных (в зависимости от того, что требуется этому приложению), а также для обратного чтения данных из файла или из базы данных. Идея заключается в том, что для любого приложения или модуля можно создать небольшую программный компонент с набором стандартных интерфейсов, предоставляющую доступ к потоку данных, создаваемому ИнИнСр.

В заключении можно сформулировать рекомендации по использованию инструментальных средств.

1. Средства Web Mining общего назначения с параметрами по умолчанию хороши только для предварительного анализа. После выявления предварительной структуры данных средствами общего назначения следует подвергнуть полученную информацию интерпретации экспертами в предметной области для формулирования содержательной гипотезы о структуре данных. Собственно, анализ данных является процессом. Определение паттернов в данных является лишь началом цикла, куда затем входит этап накопления информации для создания ПССПСИ, содержательной интерпретации с применением морфологического анализа, прогнозирования и т. д.

2. Следует с осторожностью относиться к неконтролируемой и недокументированной обработке данных. Необходимо контролировать и учитывать возможные изменения входных данных, что может явиться нетривиальной задачей.

3. Необходимо убедиться в релевантности, неискаженности и несмещенности входных данных при формировании обучающих выборок.

4. Следует учитывать факт сложности получения информации от экспертов, которые склонны снабжать аналитиков только той информацией, которую

они считают важной. Поэтому аналитик должен сам становиться мини-экспертом в предметной области для формулирования адекватных вопросов.

5. Необходимо уделить большое внимание представлению ПСсПСИ, то есть разработать форму представления результатов максимально ориентированную на специфику предметной области ERP-систем.

6. Следует организовать интеллектуальное хранилище данных (базу знаний) по всем методикам, использующим средства искусственного интеллекта.

7. До выполнения сложных аналитических процедур необходимо провести предварительный анализ существующих данных, определяющих деятельность предприятия.

Библиографический список

1. Калянов, Г. Н. CASE структурный системный анализ (автоматизация и применение) / Г. Н. Калянов. М. : ЛОРИ, 1996. 342 с.
2. Надточий, И. Л. Программные системы с повышенной степенью интеллектуальности. Проектирование и реализация : учеб. пособие / И. Л. Надточий. Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2005. 87 с.
3. Гаврилов, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем : учеб. пособие для вузов / Т. А. Гаврилов. СПб. : Питер, 2001. 384 с.
4. Девятков, В. В. Системы искусственного интеллекта : учеб. пособие / В. В. Девятков. М. : Изд-во МГТУ, 2001. 352 с.

Г. Р. Шахмаметова

АНАЛИЗ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ В КОНТЕКСТЕ ПОДХОДА НА ОСНОВЕ АНТИКРИЗИСНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 13-07-00273

Рассматриваются вопросы определения и формулирования жизненного цикла сложного объекта как объекта антикризисного управления.

Введение. Понятие «антикризисное управление» (АКУ), под которым понимается процесс предотвращения или преодоления кризиса объекта управления (ОУ), можно встретить во многих сферах. Для обозначения кризисных явлений в разных системах (экономических, организационно-технических, социальных, технических) используется различная терминология. Чаще всего эти явления обозначаются как критические, аварийные, проблемные, чрезвычайные ситуации. Несмотря на разнообразие природы указанных систем, специфические особенности объектов управления и ресурсного обеспечения, в них можно выделить общее с позиций АКУ — необходимость специального управления деятельностью для обеспечения эффективности и безопасности функционирования объекта управления и системы в целом. При этом любой ОУ проходит определенные стадии жизненного цикла (ЖЦ) и подвержен кризисам в том или ином виде в течение всего ЖЦ. В статье рассматриваются вопросы определения и формулирования жизненного цикла сложного объекта как объекта антикризисного управления.

Анализ жизненных циклов различных объектов управления. Развиваясь, сложные объекты управления в организационных, экономических, технических системах проходят различные этапы своей жизнедеятельности. Авторы публикаций по вопросам жизненного цикла выделяют эти этапы по-разному. Р. А. Попов в [1] выделил 4 основные фазы жизненного цикла на примере экономических систем (рис. 1).

I фаза — формирование. На этом этапе происходит приобретение оборудования, подготовка кадров, формирование управления и др..

II фаза — рост. Происходит значительный прирост производственных мощностей, объемов продаж, прибыли, наиболее прогрессирующая часть жизненного цикла.

III фаза — равновесное функционирование, в процессе которого без существенных вложений идет процесс стабильного функционирования, в конце которого изнашивается оборудование, претерпевают моральный износ технологии и продукция и начинается спад.

IV фаза — спад.

Если не предпринимать никакие меры, то система постепенно ликвидируется (точка *E*). Но если до точки *R* предпринять соответствующие меры (реконструкция, реорганизация), то возможен переход на новый жизненный цикл на новом уровне.

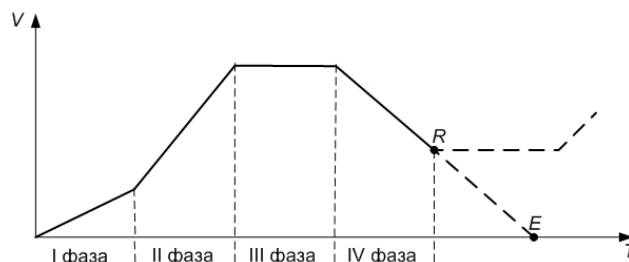


Рис. 1. Фазы жизненного цикла экономической системы в соответствии с классификацией Р. А. Попова [1]

Жизненный цикл организаций рассмотрен в [2] (рис. 2). Под «организацией» понимается некоторое относительно обособленное структурное подразделение в общей системе общественного разделения труда [3]. Критериями обособления могут быть экономическая самостоятельность, организационная целостность (существование внутренней и внешней среды), наличие специализированных информационных структур, возможность выделения для этого подразделения общего результата работы. Таким образом, в качестве организации может рассматриваться отдельная фирма, предприятие, офис, акционерное общество, банк, компания структурные единицы системы государственного управления [2].

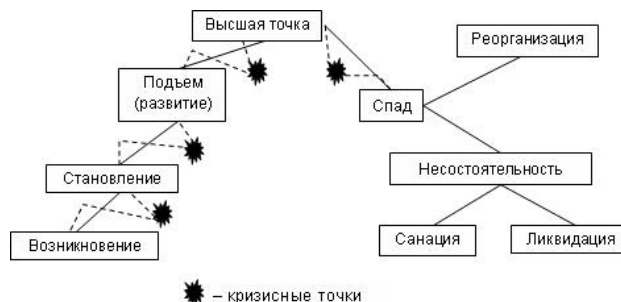


Рис. 2. Жизненный цикл организации в соответствии с классификацией Э. М. Короткова [2]

Под организационно-технической системой (ОТС) понимается человекомашинная система, в которой организационная подсистема (коллектив исполнителей) и техническая подсистема (оборудование, компьютеры и т. п.) взаимодействуют для успешного достижения поставленных целей. В качестве ОТС могут рассматриваться транспортные организации различного профиля, предприятия нефтегазовой и энергетической отрасли. При этом в жизненном

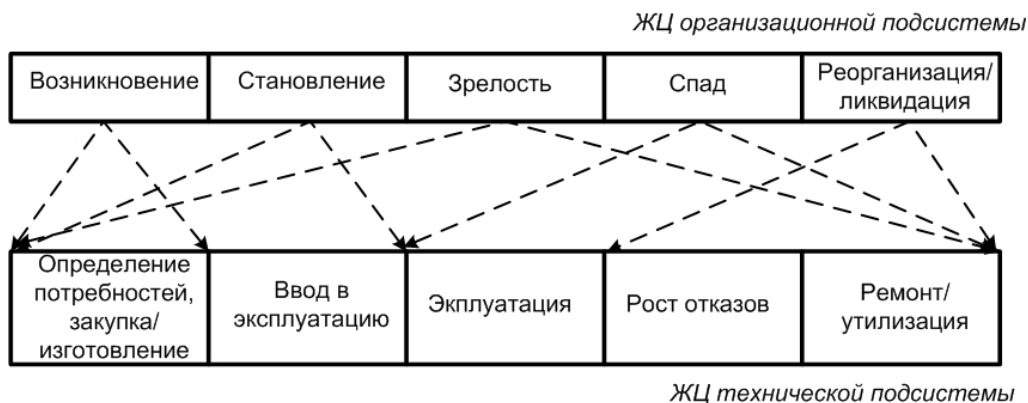


Рис. 3. Жизненный цикл ОТС

Этапы жизненного цикла для различных объектов управления

ОУ	Этапы ЖЦ				
	I этап	II этап	III этап	IV этап	V этап
Экономическая система	формирование	рост	равновесное функционирование	спад	реорганизация / ликвидация
Предприятие	появление	рост	стабилизация	стагнация	банкротство, перестройка/ ликвидация
Организация	возникновение, становление	подъем (развитие)	высшая точка	спад	реорганизация/ санация/ ликвидация
Организационно-техническая система	возникновение, становление	подъем (развитие)	высшая точка	спад	реорганизация / санация/ ликвидация
Сложный технический объект	возникновение		функционирование	увеличение количества отказов, старение	ремонт / утилизация
	проектирование	изготовление			
Концепция жизненного цикла для объектов АКУ					
Объект АКУ	возникновение	формализация, выработка структуры	стабилизация, высшая точка	спад	реорганизация / прекращение существования

цикле ОТС тесно связаны жизненный цикл организационной подсистемы, который является основным, определяющим, и жизненный цикл технической подсистемы (рис. 3).

Жизненный цикл сложного технического объекта (СТО) — последовательность этапов существования объекта искусственного происхождения от начала их создания до момента исчезновения.

Наиболее типичный состав этапов жизненного цикла: 1) возникновение СТО — проектирование, определение функций, выбор функциональной структуры, принципа действия и технического решения, оптимизация параметров СТО, изготовление СТО; 2) функционирование СТО — эксплуатация СТО; 3) мониторинг — диагностика неисправностей, рост количества отказов, старение; 4) ремонт СТО или утилизация СТО в результате его физического или морального устаревания.

Жизненный цикл объекта антикризисного управления. Экономические системы, организации, организационно-технические системы, технические объекты в ходе своей жизнедеятельности проходят различные этапы, объединяемые определенными закономерностями, которые можно выявить и обоб-

щить для объекта антикризисного управления (таблица, рис. 4).

ОУ проходит определенные стадии жизненного цикла (ЖЦ) и подвержен кризисам в том или ином виде в течение всего ЖЦ. Концепция ЖЦ позволяет сформулировать задачи контроля эффективности и безопасности функционирования объекта управления на каждом этапе. С переходом одного состояния в другое при скатывании ситуации к кризису объем антикризисных управленческих функций возрастает. При этом данные, требуемые для антикризисного управления, являются структурированными, характеризующимися большим объемом, отражающие разнородную по содержанию информацию, которая содержит скрытые закономерности, и слабо структурированными, поэтому без применения интеллектуальных информационных технологий решить данную задачу не представляется возможным. Более подробно эти вопросы освещены в [4; 5].

Закключение. Сложные объекты управления, в качестве которых могут выступать предприятия, организации, технические объекты, характеризуются определенными стадиями жизненного цикла, которые отличаются продолжительностью, целями, результатами.



Рис. 4. Фазы жизнедеятельности объекта АКУ

На основе анализа особенностей этапов жизненного цикла для различных объектов управления (экономические, организационно-технические, сложные технические системы) сформулирована общая схема жизненного цикла для объектов АКУ и показано, что любой ОУ подвержен кризисам в том или ином виде. Разработку информационной поддержки АКУ предлагается проводить с учетом предложенной схемы жизненного цикла объекта управления.

Библиографический список

1. Попов, Р. А. Антикризисное управление / Р. А. Попов. М. : Высш. шк., 2005. 429 с.
2. Антикризисное управление / под ред. Э. М. Короткова. М. : ИНФРА-М, 2012. 620 с.
3. Мильнер, Б. З. Теория организации / Б. З. Мильнер. М. : Инфра-М, 2006. 864 с.
4. Юсупова, Н. И. Поддержка принятия решений при антикризисном управлении на основе интеллектуальных технологий / Н. И. Юсупова, Г. Р. Шахматова. М. : Машиностроение, 2012. 244 с.
5. Юсупова, Н. И. Информационная поддержка антикризисного управления на различных этапах жизненного цикла объекта управления : монография / Н. И. Юсупова, Г. Р. Шахматова. Уфа : Изд-во УНЦ РАН, 2012. 117 с. (Препринт).

ABSTRACTS

O. I. Babina, A. V. Panyukov

BAYES CLASSIFIER FOR NAMED ENTITY RECOGNITION IN NATURAL LANGUAGE TEXTS

Presents a method for solving the problem of named entity (NE) recognition. Following the supervised learning approach, we have developed a Bayes classifier, distinguishing between NE classes based on the representation of NEs as Boolean-valued feature vectors. We overcome the Naïve Bayes assumption of feature independence by taking an example-based approach comprising access to a complete knowledge base of feature vectors representing NEs from a training set during the real-time operation of the classifier.

V. E. Gvozdev, K. B. Ahunyanova

ANALYSIS OF THE IMPACT OF STRUCTURAL SOLUTIONS AND THE INTERVAL RELIABILITY CHARACTERISTICS OF COMPONENTS ON THE ELECTRONIC EQUIPMENT RELIABILITY CHARACTERISTICS.

This paper is devoted the analysis of the impact of product structure and interval reliability characteristics of components on the reliability characteristics of electronics based on technology of full factorial experiment. The results of computational experiments for the cases of serial and parallel connection of components of elements presents in this paper.

V. E. Gvozdev, A. S. Suhungulova, O. Y. Begaeva

ESTIMATION NUMBER OF DEFECTS IN THE SOFTWARE MODULES ON THE BASIS OF COMPLEXITY INDICATORS.

The method that allows getting estimates the number of defects in a software module based on the module complexity characteristics is described. This method focuses on the use when developing and testing modules involved in different groups of experts.

O. N. Dementiev

THE STABILITY OF THE CONVECTIVE FLUID FLOW IN A VERTICAL LAYER WITH INSULATED BOUNDARIES

The results of a solution of the problem of the stability of steady – state convective flow in a vertical layer with thermally insulated boundaries and comparison with the opposite limiting case of ideally thermally conducting boundaries are presented.

T. A. Makarovskih

FLOOR COUNT FOR A RECTANGULAR CUTTING PLAN AOE-CIRCUITS

The paper it devoted to algorithm for AOE-cover constructing for a plane graph having only vertices of degree 3 and 4. Such a graph may correspond a rectangular cutting plan, and AOE-trail may be a path avoiding intersecting of cuts and a part cut off a sheet does not require additional cuts.

S. V. Matveev

MULTIVARIATE DIVERSITY AND COMBINING VOXELS

Is a simple criterion for the union of a finite number of n - dimensional voxels of the n - dimensional cubic lattice is a topological manifold with boundary. Criterion is formulated in terms of a special discrete metric on the set of voxels that are incident to each vertex. In cases of $n = 2$ and $n = 3$, this test may be useful for the practice , for example, in the pattern recognition theory . In higher dimensions until it is purely theoretical .

A. P. Nurgatin

THE REDUCTION OF THE COMPUTATIONAL COMPLEXITY OF THE FREAK ALGORITHM

In recent years, have been developed exact algorithms to identify objects in images. However, as with all of the algorithms based on window-scanning the size of screen grows computational costs increase too. The paper proposes a method of increasing the speed without sacrificing accuracy. Also this paper demonstrate the effectiveness of the proposed algorithm.is used. Design of hypercubes dimensions and measures are discussed. The approach is illustrated on an example of multidimensional activity model for dissertational councils of scholar institution.

A. V. Panyukov

POLYNOMIAL ALGORITHM FOR TRAVELING SALESMAN PROBLEM

The algorithm for solving the traveling salesman problem on graph (V, E) with weight function $w: E \rightarrow \mathbb{N}$, which consists of finding the optimum value, and post optimization analysis of the found values. Computational complexity of this algorithm does not exceed the size $O(|V|^6 \cdot \log_2^2(|V| \cdot W))$, where $W = \max_{e \in E} w(e)$.

Yu. S. Popkov

MONTE CARLO BATCH ITERATION METHOD OF SOLVING GLOBAL OPTIMIZATION PROBLEMS

This paper proposes a new solution method of solving global optimization problems involving Hölder-functions defined on compact sets that are defined algorithmically. The method is based on Monte Carlo batch iterations and constructs the sequence of “quasiglobal” minima and the sequence of their decrements. The latter serves for estimating the Hölder constants of a goal function. We explore the probabilistic properties of the above sequences and demonstrate that this method possesses exponential convergence with the probability of 1 (almost sure). Under a finite number of iterations, we obtain the upper estimates for the distance between “quasiglobal” and exact solutions of the global minimization problem, as well as the lower estimates for the associated probability. And finally, a series of test problems illustrate the operability of the suggested technique.

A. N. Seseikin, A. E. Sholohov

HEURISTIC ALGORITHMS IN DISPLACEMENTS ROUTING PROBLEMS

Consider the problem of routing optimization for shape cutting machine sheet metal. Propose a genetic algorithm to solve the problem.

N. D. Starostin

IMPROVEMENT AND DETAILS OF METHOD TIERED EXCEPTIONS FOR OPTIMIZATION OF TOOL MOVEMENTS

Is considered an accurate method of optimization of route traversal processing objects specified in Cartesian coordinates, by tiered exceptions design and synthesis of valid fragments route. Testing on the class of the processing objects that are selected without obvious patterns with the distribution of objects randomly, gives for a given class preliminary statistical evaluation of the computational complexity of the method as a polynomial.

A. F. Tavaeva, A. A. Petunin

DETERMINING ADJUSTMENT COEFFICIENTS FOR SPEED OF TOOL WORKING MOVEMENTS IN THE OBJECTIVE FUNCTION FOR TOOL ROUTE OPTIMIZATION PROBLEMS

The problem of correction coefficients definition for rate of tool working transitions in the objective function of optimization problem is considered. The received values of correction coefficients and the logarithmic dependence are shown.

A. G. Chencov

EXTREME DISPLACEMENTS ROUTING IN TERMS OF RESTRICTIONS

The «additive» route problem under precedence constraints and cost functions admitting the dependence away from tasks list is considered. The procedure of construction of solution on the base of widely understood dynamic programming is proposed.

A. F. Shorikov

THE TECHNIQUE OF TWO-LEVEL PROGRAM MANAGEMENT MINIMAX ECONOMIC SECURITY OF THE REGION

Consider discrete-time dynamical system consisting of a set of a controllable objects (the region and forming it municipalities), the dynamics of each of which is described by a corresponding vector linear discrete-time recurrent relation in the presence of controlled parameters and risks. For this dynamical system we consider the problem of optimization of management of economic security of the region in the presence of risks. In this work we proposed an economic-mathematical model of two-level hierarchical minimax program control of economic security of the region in the presence of risk and the general technique of the solution.

A. F. Shorikov, E. V. Bucenko

THE FORMATION OF THE INVESTMENT PROJECTS FINANCIAL ANALYSIS NETWORK MODEL

The article discusses actual issues of optimization of investment project for the economic entity. To solve the optimization problem of financial analysis investment project it is proposed to use a network of economic-mathematical modeling. The formed network model, including the sequence of complex operations, financial analysis, investment project, given its detailed description and the graphical representation of the considered processes.

I. M. Yachikov

MATHEMATICAL MODELING OF MAGNETIC FIELD STRENGTH AND THE EQUILIBRIUM POSITION THE BODY SUSPENDED IN THE HIGH-FREQUENCY INDUCTOR

The mathematical model to determine the amplitude of the magnetic field and the position of the metal body at its holding in suspension in the inductor coil with the opposite. A computer simulation of the possible equilibrium points of the cylindrical and spherical bodies in the magnetic field of the inductor. It is established that there is a critical density of the material and the kind of the minimum value of the current through the inductor, which is characterized by limiting the theoretical capacity data retaining body sizes.

I. M. Yachikov, E. M. Kostyleva

THE MATHEMATICAL MODELING OF LOCAL AND MEDIUM INTEGRAL ELECTROMAGNETIC FORCES ACTING ON THE ARC IN A THREE-PHASE ARC FURNACE

The mathematical model to determine the main local and medium-integral electromagnetic forces acting on arcs in a three-phase arc furnace is given. It is shown that in a three-phase arc furnace at distances between electrodes which are less than 1,5 to 2,5 of the arc length the most significant effect on the behavior of the electric arc and its shape has strength of the electromagnetic interaction between the currents flowing through the arc and graphite electrodes, and at large distances the interaction forces arcs of currents with flowing through the molten metal.

N. A. Blenda

OVERVIEW OF RUSSIAN-LANGUAGE THESAURI TO SOLVE THE PROBLEM OF CALCULATING THE SEMANTIC SIMILARITY FOR SCIENTIFIC PUBLICATIONS

Comparison of Russian-language thesauri RuTez, RussNet, Yet Another RussNet (YARN), Russikon and wordnet.ru. We consider requirements for ontology for solving the problem of calculating semantic similarity between scientific publications.

N. M. Borgest, A. A. Gromov

USING OF A ROBOT DESIGNER IN THE CONCEPTUAL DESIGN OF THE AIRPLANE

On the basis of the prototype robot designer, developed in Samara State Aerospace University, explores the possibility of using methods and techniques of artificial intelligence, to accelerate the development of students the preliminary design of the aircraft.

D. S. Botov, A. V. Melnikov

USING OF ONTOLOGICAL APPROACH TO THE PROBLEM OF AUTOMATIC GENERATION A SET OF TRAINING COURSES BASED ON THE INTELLIGENT ANALYSIS OF LEARNING OUTCOMES

The article is devoted to use of ontological approach for building ontological models of the educational program and the profession (the professional standard) in solving the problem of automated form a set of educational courses to consider the requirements of the labor market based on mining of learning outcomes.

A. R. Davletbaeva, L. R. Chernyahovskaya

USING OF MODELS AND METHODS OF INTELLIGENT SUPPORT DECISIONMAKING TO ENSURE THE EFFECTIVENESS OF DISTANCE LEARNING

In this article the process of distance learning effectiveness ensuring is considered. It is proposed to use the tools of ontological analysis to integrate, structure and formalize all of information characterizing the process. Furthermore in order to analyze and evaluate distance learning effectiveness it is proposed an approach on the base of fuzzy cognitive maps.

I. V. Zakharova, M. S. Timchenko

“BIG DATA” TO PREDICTIVE ANALYTICS. THE POSSIBILITY OF PREDICTIVE ANALYTICS AT THE UNIVERSITY

The article considers the methods of predictive Analytics and the possibility of their use in the system of strategic control and management of the University.

A. N. Kovartsev, V. S. Smirnov, S. V. Smirnov

INTELLECTUALIZATION CONTEXT GENERATION FOR OUTPUT CONCEPTUAL STRUCTURE DOMAIN

The thesis investigates problems of Ontological Data Analysis. An approach proposed for ontological specification education context generation. This education uses Formal Concept Analysis method with the assumption that existence constraints are known by user at a set of subject area objects measurement properties.

N. S. Myasnikov

REVIEW OF TEXT MINING METHODS

This short review provides the concept and objectives of Text mining. Describes the interaction region Text mining with other areas of computational linguistics and applications of text analysis.

G. S. Osipov

COGNITIVE METAMODELING

In Vygotsky's Cultural and Historical theory, where the sign is informal understood. Considered the procedure of forming characters and self-organization on the set characters. The result of self-organization is a new way of describing the picture of the world subject of activity. Based on the proposed picture of the world built some models functions of consciousness.

I. A. Stepanovskaya

KNOWLEDGE ACQUISITION FOR MULTI-AGENT RISK CONTROLLING NONLINEAR DEVELOPING SYSTEMS BASED ON FRACTAL ONTOLOGY DYNAMICS SYNERGIES

The article discusses the methodological principles of knowledge acquisition for multi-agent smart controlling the development of large-scale systems.

L. L. Chekalov

MEMORY AND ATTENTION IN BIOLOGICAL AND INFORMATION SYSTEMS

The article defines a set of concepts to describe the memory and attention for biological and information systems. The concept of information is used as a universal means of describing the biological and information systems. Multilayer structure information and biological systems leads to differences in the kinds of information used in each layer.

Memory and attention are the basis of decision-making and management of any system. Considered the thesis of the fundamental difference between the two methods of information processing and decision-making due to the internal mechanism of information processing in biological and information systems.

N. I. Yusupova, O. N. Smetanina, A. V. Klimova

ORGANIZATION OF INFORMATION DECISION SUPPORT IN THE MANAGEMENT OF EDUCATIONAL ROUTES BASED ON ONTOLOGY

The article deals with the development and use of ontology to organize information support decision-making in the management of OM within AM.

N. M. Borgest

ISSUES IN THE INFORMATION-AGE SOCIETY: THE EXPERIENCE OF THE TRAVEL

The report describes the main challenges of the information society, facing the members of this society, carrying out an activity. Systematization of problems is made on the basis of analysis of information exchange in the implementation of a world tour to 12 cities in 17 countries in 3 continents.

D. V. Verbov, R. V. Lavrinchuk

AUTOMATION OF STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF INFORMATION SYSTEMS IN TERMS OF INTEGRATION

Considers the problem of analysis of master data management while integration process. Requirements to the tool of the automated analysis are provided. Examines existing tools, and encouraged to develop their own means of specialized information systems analysis.

V. E. Gvozdev, O. Y. Bezhaeva, R. R. Kurunova

USING "HOUSE OF QUALITY" METHOD IN THE ANALYSIS OF DESIGN DECISIONS FOR DEVELOPING RADIO-ELECTRONIC MODULES

Consider using tools and QFD house of quality in the design radioelectronic equipment on industrial enterprise. Considered efficiency radio-electronic products as three-tier structure: efficiency in terms of customers, efficiency in terms of producer and border efficiency - the need for conversion efficiency in the production of consumer.

E. A. Gorbatova, M. V. Zaretskiy

EXPERT SYSTEM FOR SELECTING DEEP RECYCLING TECHNOLOGY OF MINING AND PROCESSING AND METALLURGICAL PRODUCTION

We propose an ontology that allows to combine deterministic and fuzzy approaches to the development of decision support systems in the organization of deep processing of waste mining and processing and metallurgical production in cooperation of several companies in the region.

K. V. Ivanov

DEVELOPMENT OF MONITORING SYSTEMS FOR HIGH PERFORMANCE COMPUTING

The paper presents an overview of the tasks of monitoring high-performance computing resources. The requirements for the monitoring system, which would help to assess the effectiveness of the application on the cluster. The basic design and to analyse their advantages and disadvantages.

A. A. Kiyaeva

DEVELOP A SET OF SAMPLING PROGRAM OF RATIONAL PARAMETERS PRESSURE PULSATION DAMPENER

In the present paper pressure snubber optimal parameters program system providing the least noise was developed.

M. Yu. Kosenko, A. V. Melnikov

COOPERATION AGENTS MULTI-AGENT SYSTEM FOR IDENTIFYING BOTNETS

In this paper considers the question of cooperation of agents in multi-agent system identify botnets. In the framework of object-oriented analysis of multi-agent system is made functional description of system roles, as well as the language is determined by making overall plans and interactions between agents.

M. A. Maksimov, O. S. Logunova

DESIGN SOFTWARE SOLUTIONS PARTICLE SIZE ASSESSMENT MATERIALS

The design solutions for electric arc furnace charging materials granulometry software are represented in the article. The software is intended for increase in the reliability and fullness of information of the estimate and based on image analysis. The design solutions are set down in the form of control-flow charts based upon the developed computer-aided system requirements specification and form the staple for the software implementation.

A. S. Markov

CONFORMITY ASSESSMENT OF INFORMATION SECURITY REQUIREMENTS FOR INFORMATION SECURITY: A PARADIGM SHIFT

Conceptual issues of information security certification are considered. The necessity of a paradigm shift of information security certification is shown. An analysis of the statistics of certification tests is done. The suggestions for the development of a certification system are made.

L. F. Rozanova, I. A. Lakman, Z. V. Maksimenko

INFORMATION SUPPORT STRATEGY FORMATION DEBT COLLECTION BASED ON THE COLLECTION OF SCORING

Implementation of collection scoring system involves the construction of an effective system for working with past due debts, as well as a significant reduction of costs and their optimization. The proposed collection scoring model allows evaluation of possibility that the debtor will make payments and also the period during which he will do it. The obtained results allow analyzing the debts' portfolio and choosing effective collection methods for each debtor.

S. A. Petunin

TECHNIQUE INITIAL WORKLOAD ANALYSIS COMPUTING CLUSTERS

The paper gives simple method for getting of workload statistics for computing clusters.

Modern program language R is used for analyses of parallel jobs characteristics.

O. V. Savchenko, D.V. Kurennov

HARDWARE FOR DECISION MAKING SUPPORT SYSTEM OF THE S'ARDU ROBOT

This article describes the features of robot S'ARDU hardware selection, one can find an analysis of the basic integration features, and practical conclusions, that a quite enough to state that correct project hardware is a huge step towards developing that project.

This project's goal is the creation of intelligent system to control the robotic object, which combines both traditional and innovative programming methods.

S. A. Skripov

PRIVATE CLOUD SOLUTIONS: TECHNOLOGY AND SIMULATION

This article discusses the simulation of cloud solutions to design a private cloud and describes existing approaches. Marked technical features and different ways to customize the clouds that significantly affect its performance.

E. M. Abakumov, D. M. Agulova

PROCEDURE FOR THE CREATION OF AUTOMATED SYSTEMS IN ENTERPRISES INSTRUMENTATION

There are many approaches to phase of lifecycle of information systems. In this paper we considered the modification of development flow for instrument-making enterprise taking into account the requirements according to adoption of business process.

V. E. Gvozdev, D. V. Blinova, G. F. Baytimiroya

ANALYSIS OF THE AUTOMATED DATA PROCESSING QUALITY IN THE HOUSING SECTOR, BASED ON AFD-METHODOLOGY

In this paper discusses the issues of software systems vulnerability analysis using the Anticipatory Failure Determination, based on innovative software complex "SUPER MKD", designed to work in the housing sector.

I. G. Kamenskih

PROSPECTS FOR QUANTUM INFORMATION TECHNOLOGY IN THE RUSSIAN FEDERATION. DEVELOPMENT AND USE

In this paper reviewed causes of necessity in quantum information technologies in Russia Federation. International solutions in forming quantum nets reviewed. Plans of forming first quantum net in Russian Federation announced.

D. B. Kozyrev, E. M. Abakumov

TYPING 3D-MODELS OF PARTS IN ACCORDANCE WITH THE OBJECTIVES OF THE MODELS USING

The article proposes a typification of 3D models of parts in accordance with the intended use of models. Two types of models and three variant annotations, allowing to use models for different purposes are considered. The purposes described for each combination of model type and variant annotation.

A. A. Kozko

ABOUT A MEANS OF ORGANIZING INFORMATION INTERACTION IN DISTANCE EDUCATION

Development of information technologies has resulted to an increase a number of Internet users and made distance education more available for everyone. One of the concepts that have emerged because of this, was the concept of Mass Open Online Courses (MOOC). Development of this concept has led to an increase in the number of people enrolled to distance course at the same time, it showed a lot of problems in the modern information tools of interaction between students.

This article examines trends of distance education, as well as considers existing problems and perspectives of tools for support and organization of information exchange that related to the development of the Internet and the increase in the number of students in distance courses.

A. A. Kozko, A. V. Melnikov

EXPANDING THE ADAPTIVE EDUCATIONAL ENVIRONMENT FORUM WITH SEARCH ENGINES

The paper deals with organization of interaction and communication between subjects of the distance learning process through forums and comment system. Considered existing software tools, their structure and disadvantages. Propose a model of adaptive educational forums, as well as described principle of expanding adaptive forums using information from external sources, used search engines as example. Also described software architecture of this solution.

L. V. Massel, A. G. Massel

TOOLS OF CONTINGENCY MANAGEMENT IN ENERGY SECTOR.

This article describes the proposed authors approach to contingency management in the energy sector based on semantic modeling. The modern interpretation of situational management is seen as a reflection of the ideas of D. A. Pospelov and his colleagues on the modern information technologies. The main methods of contingency management include situational analysis and situational modeling implemented using technologies and tools of semantic modeling in the energy sector, including the ontological, cognitive, event and probabilistic (based on Bayesian belief networks) modeling. The authors use for justification of the proposed approach own fractal stratified model (FS-model), by means of which the structure and the main components of the proposed contingency management language are described.

O. U. Matkovskaya

DEVELOPMENT OF A SUBSYSTEM OF DESIGNING ELECTRONIC CONTENT BASED ON MOLD IN ELEARNING

This article provides a brief description of the courseware management systems Moodle, describe an algorithm for embedding a new module in Moodle, listed underlying files that should be in any module and spelled out their basic content. And also describes the main part of the API Moodle.

A. V. Melnikov, B. A. Kuzenbayev, A. A. Kuzenbaeva

ONTOLOGY MODEL OF AUTOMATED UNIVERSITY'S INFORMATION SYSTEM

This paper presents an ontological model, providing management training process and offer the most effective information technologies designed to improve the quality and competitiveness of developed resources.

V. A. Melnikov, D. V. Kuramshin, D. S. Kusheva

ANALYSIS OF CORRELATION FREQUENCY OF OCCURRENCE REPORTS IN THE MEDIA AND THE MOVEMENT EXCHANGE RATE

In this article are shown big financial players major steps of accumulation and distribution their market position, made correlation analysis between incoming news in mass media resources and price change of national currency, given next steps in forming financial indicator, which will show current stage of market, analyzing frequency of incoming mass-media news.

I. L. Nadtochiy

THE METHOD OF INCREASING THE DEGREE OF INTELLIGENCE OF AUTOMATED LEARNING SYSTEMS THAT SUPPORT THE PROFESSIONAL TRAINING OF IT PROFESSIONALS

Deals with the issues of raising the intellectual capacities of the students systems. Implementation of the proposed methodology requires substantial-aqueous review the organization's methods of work with knowledge.

The methodology based on a study of educational information for effective search. Features multi-level org linguistic support with the use of intellectual com-component ActiveAgentX.

Formulated selection criteria and requirements for the instrumental si system, possessing a cer-tain degree of intelligence.

I. A. Nurmuhametov

EXPERT SYSTEM FOR THE CHOICE OF TECHNOLOGY OF DEEP PROCESSING OF WASTE OF MINING AND METALLURGICAL PRODUCTION

This paper proposes an approach to the creation of a system of monitoring, analysis and forecasting of educational processes on the basis of distance education using ISEO, which would not just keep a chronological accumulation of data on the educational process, and would be able to manage the process of acquiring the necessary skills. Such an approach should take into account the experience of leading Russian and foreign universities to create and implement similar electronic systems.

G. A. Saitova, I. I. Sabitov, E. A. Halikova

INFORMATION SUPPORT OF THE DESIGN PROCESS MULTIPLY THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM WITH THE REQUIRED STABILITY MARGIN

Software for multivariable automated control system design is considered in the article. The software is developed for analysis of stability, finding gain and phase stability margins, synthesis of control devices and connection characteristics of systems. There is given a block diagram of the offered software and its blocks. There are considered functions and algorithms of the package modules. The use of the developed software is demonstrated on synthesis of the regulators.

O. N. Smetanina, T. V. Naumova, Gayanova M. M.

IMPLEMENTATION OF THE APPROACH TO THE CONTROL OF THE LEVEL OF STUDENTS' PHYSICAL DEVELOPMENT ON THE BASIS OF INTELLIGENT TECHNOLOGIES

The article deals with the development of models for the management of DSS level of physical development of the student as well as its structural scheme. Fragments of a software implementation approach to ensure the information decision support management level of physical development of the student.

O. G. Startseva, A. V. Parfiro, D. R. Bogdanova

IT INFRASTRUCTURE OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS FOR DISTANCE LEARNING

We consider the construction of IT-infrastructure of educational institutions for distance learning in the form of modules. Particular attention is paid to the optimization of the information structure. We have described the main approaches to the construction of the data center.

G. A. Trubetskaya, I. L. Nadtochy

IT TECHNOLOGIES FOR INCREASE OF DEGREE OF INTELLECTUALITY OF ERP-SISTEM

Questions of introduction of intelligent modules in a contour of management of the enterprises, in a contour of ERP systems are investigated. As the purpose of development it is possible to consider increase of degree of intellectuality of the software product, transition to the level of connection of fundamentals of program engineering and engineering of knowledge. Possibility of connection of the intelligent module in structure of Enterprise resource planning is offered.

G. R. Shahmametova

ANALYSIS OF THE CONTROL OBJECT LIFE CYCLE IN COMPLEX SYSTEMS IN THE CONTEXT OF AN APPROACH BASED ON CRISIS MANAGEMENT

The questions of a complex object life cycle definition and formulation as the object of crisis management are considered in the article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Абакумов Евгений Михайлович — кандидат технических наук, начальник отделения ИТ Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н. Л. Духова, Москва.

abakumov@vniia.ru

Агулова Дарья Михайловна — аспирант, ведущий инженер-программист Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н. Л. Духова, Москва.

agulova@vniia.ru

Ахуньянова Ксения Борисовна — аспирант кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

akhunyanova.k@gmail.com

Бабина Ольга Ивановна — кандидат филологических наук, доцент Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета), Челябинск.

babinaoi@susu.ac.ru

Байтимирова Гульназ Фиделевна — магистрант кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

baitimirova.g@yandex.ru

Бежаева Оксана Яковлевна — кандидат технических наук, доцент кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

obezhaeva@gmail.com

Бленда Николай Андреевич — преподаватель кафедры информационных технологий Института информационных технологий Челябинского государственного университета.

bna@csu.ru

Блинова Дарья Викторовна — кандидат технических наук, доцент кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

Blinova.darya@gmail.com

Богданова Диана Радиковна — доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

dianochka7bog@mail.ru

Боргест Николай Михайлович — кандидат технических наук, профессор Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С. П. Королева.

borgest@yandex.ru

Ботов Дмитрий Сергеевич — заведующий лабораторией проектного обучения Института информационных технологий Челябинского государственного университета.

dmbotov@gmail.com

Буценко Елена Владимировна — кандидат экономических наук, доцент кафедры статистики, эконометрики и информатики Уральского государственного экономического университета.

evl@usue.ru

Вербов Денис Валерьевич — руководитель подразделения Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н. Л. Духова, Москва.
verbov@vniia.ru

Гаянова Майя Марсовна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и информатики Уфимского государственного авиационного технического университета.
maya.gayanova@gmail.com

Гвоздев Владимир Ефимович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.
wega55@mail.ru

Горбатова Елена Александровна — доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой геологии и маркшейдерского дела Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова.
mark10000110@gmail.com

Громов Андрей Александрович — магистрант Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С. П. Королева.
gomer191@gmail.com

Давлетбаева Альбина Радиковна — аспирант кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.
salavatova.a@bk.ru

Дементьев Олег Николаевич — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной механики и информационных технологий Челябинского государственного университета.
dement@csu.ru

Зарецкий Марк Валентинович — доцент кафедры вычислительной техники и программирования Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова.
mark10000110@gmail.com

Захарова Ирина Викторовна — кандидат физико-математических наук, начальник отдела информационных ресурсов управления информатизации образования Челябинского государственного университета.
iren@csu.ru

Иванов Константин Владимирович — инженер-программист, аспирант Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н. Л. Духова, Москва.
Ivanov.konstantin.89@gmail.com

Каменских Иван Георгиевич — инженер-специалист Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н. Л. Духова.
kamenskikh@vniia.ru

Кияева Анна Анатольевна — студентка второго курса магистратуры Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С. П. Королева.
anutka.liod@mail.ru

Климова Александра Вадимовна — ассистент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

alex.melnikova.ufa@gmail.com

Коварцев Александр Николаевич — доктор технических наук, заведующий кафедрой программных систем Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С. П. Королева.

kovr_ssau@mail.ru

Козырев Денис Борисович — заместитель начальника подразделения Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н. Л. Духова, Москва.

kozirev@vniia.ru

Козько Александр Андреевич — аспирант Института информационных технологий Челябинского государственного университета.

alkozko@yandex.ru

Косенко Максим Юрьевич — преподаватель кафедры информационных технологий Института информационных технологий Челябинского государственного университета.

kosenko@csu.ru

Костылева Елизавета Марковна — аспирант кафедры вычислительной техники и программирования Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова.

ezaretskaya@yandex.ru

Кузенбаев Батырхан Аманжолович — докторант PhD Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, Астана, Республика Казахстан.

bekz@bk.ru

Кузенбаева Айжан Айдархановна — старший преподаватель Костанайского государственного университета им. А. Байтурсынова.

ayzhan.81@mail.ru

Курамшин Джавит Валерьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

autorbdja@mail.ru

Куреннов Дмитрий Валерьевич — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационных технологий и автоматизированного проектирования Уральского федерального университета им. Б. Н. Ельцина, Екатеринбург.

dmitriy-v-k@yandex.ru

Курунова Роксана Рафаиловна — аспирант кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета, инженер ОАО «НИИ “Солитон”».

roksana.kurunova@gmail.com

Кушева Дарья Сергеевна — студент кафедры информационных технологий Института информационных технологий Челябинского государственного университета.

kushevads@Gmail.com

Лавринчук Роман Владимирович — инженер-программист Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н. Л. Духова, Москва.

romanzi@mail333.com

Лакман Ирина Александровна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

lackmania@mail.ru

Логунова Оксана Сергеевна — доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой вычислительной техники и программирования Института энергетики и автоматизированных систем Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова.

logunova66@mail.ru

Макаровских Татьяна Анатольевна — кандидат физико-математических наук, доцент Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета), Челябинск.

E-mail: kwark@mail.ru

Максименко Зоя Викторовна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

zubazzz@mail.ru

Максимов Михаил — студент 5-го курса Института энергетики и автоматизированных систем Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова.

mihailmaks@mail.ru

Марков Алексей Сергеевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, генеральный директор ЗАО «НПО «ЭШЕЛОН»», Москва.

mail@cnpo.ru

Массель Алексей Геннадьевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН, Иркутск.

amassel@gmail.com

Массель Людмила Васильевна — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН, Иркутск.

massel@isem.sei.irk.ru

Матвеев Сергей Владимирович — доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, профессор, заведующий кафедрой компьютерной топологии и алгебры Челябинского государственного университета.

matveev@csu.ru

Матковская Оксана Юрьевна — преподаватель Института информационных технологий Челябинского государственного университета.

oxsa91@gmail.com

Мельников Андрей Витальевич — доктор технических наук, профессор, директор Института информационных технологий Челябинского государственного университета.

mav@csu.ru.

Мельников Виталий Андреевич — кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных технологий Института информационных технологий Челябинского государственного университета.

Protei300@gmail.com

Мясников Николай Сергеевич — аспирант Снежинского физико-технического института Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ».

myasnikovnikolay@gmail.com

Надточий Ирина Львовна — кандидат технических наук, доцент кафедры электронно-вычислительных машин Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета), Челябинск.

il-n@yandex.ru

Наумова Татьяна Викторовна — магистрант кафедры вычислительной математики и информатики Уфимского государственного авиационного технического университета.

tata-74-06@rambler.ru

Нургатин Антон Ренатович — аспирант Института информационных технологий Челябинского государственного университета.

nurgatin@csu.ru

Нурмухаметов Илья Анатольевич — преподаватель кафедры экономики отраслей и рынков Института экономики отраслей, бизнеса и администрирования Челябинского государственного университета.

89058323808@mail.ru

Осипов Геннадий Семенович — доктор физико-математических наук, профессор, заместитель директора по научной работе Института системного анализа РАН, Москва.

gos@isa.ru

Панюков Анатолий Васильевич — доктор физико-математических наук, профессор Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета), Челябинск.

paniukovav@susu.ac.ru

Парфирьев Алексей Владимирович — студент Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы, Уфа.

avparfiriev@mail.ru

Петунин Александр Александрович — доктор технических наук, заместитель директора механико-машиностроительного института по науке и инновациям Уральского федерального университета, Екатеринбург.

aapetunin@gmail.ru

Петунин Сергей Александрович — кандидат физико-математических наук, главный специалист Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н. Л. Духова, Москва.

s.a.petunin@gmail.com

Попков Юрий Соломонович — доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор Института системного анализа РАН, Москва.

popkov@isa.ru

Розанова Лариса Федоровна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

rozanova_lara@mail.ru

Сабитов Искандер Ильдарович — аспирант Уфимского государственного авиационного технического университета.

iskra1990@gmail.com

- Савченко Ольга Владимировна** — аспирант Уральского государственного университета им. Б. Н. Ельцина, Екатеринбург.
sawchenko.im@yandex.ru
- Саитова Гузель Асхатовна** — кандидат технических наук, доцент Уфимского государственного авиационного технического университета.
saitova@bk.ru
- Сесекин Александр Николаевич** — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики Уральского энергетического института Уральского федерального университета, Екатеринбург.
sesekin@list.ru
- Скрипов Сергей Александрович** — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационных технологий Челябинского государственного университета.
skripov@csu.ru
- Сметанина Ольга Николаевна** — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.
smoljushka@mail.ru
- Смирнов Виктор Сергеевич** — студент Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С. П. Королева.
victorsmirnov92@gmail.com
- Смирнов Сергей Викторович** — доктор технических наук, директор Института проблем управления сложными системами РАН, Самара.
smirnov@iccs.ru
- Старостин Николай Диодорович** — кандидат технических наук, доцент Уральского федерального университета, Екатеринбург.
nickstar54@gmail.com
- Старцева Оксана Геннадьевна** — доцент кафедры информационных и полиграфических систем и технологий Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы, Уфа.
- Степановская Ираида Александровна** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Москва.
irstepan@ipu.ru
- Субхангулова Алия Салаватовна** — магистрант 2 курса Уфимского государственного авиационного технического университета.
aliyasr21@gmail.com
- Таваева Анастасия Фидагилевна** — аспирант Уральского федерального университета, главный специалист ОАО «Уральский оптико-механический завод», Екатеринбург.
tavaeva_a_f@bk.ru
- Тимченко Михаил Сергеевич** — программист отдела информационных ресурсов управления информатизации образования Челябинского государственного университета.
timchenkoms@mail.ru

Трубецкая Галина Александровна — кандидат педагогических наук, заведующая кафедрой информационных технологий Челябинского государственного университета.

tga@csu.ru

Халикова Елена Анатольевна — кандидат технических наук, старший преподаватель Уфимского государственного авиационного технического университета.

khalikova_elena@mail.ru

Чекалов Леонид Леонидович — кандидат технических наук, директор ООО «Транс-Мобил Спедишн», Самара.

Ltrans777@mail.ru

Ченцов Александр Георгиевич — член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Института математики и механики им. Н. Н. Красовского УрО РАН, профессор Уральского федерального университета, Екатеринбург.

chentsov@imm.uran.ru

Черняховская Лилия Рашитовна — доктор технических наук, профессор кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

lrchern@yandex.ru

Шахмаметова Гюзель Радиковна — доктор технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

shakhgouzel@mail.ru

Шолохов Андрей Егорович — аспирант кафедры прикладной математики Уральского энергетического института Уральского федерального университета, Екатеринбург.

andrew-sholohov@yandex.ru

Шориков Андрей Федорович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики Уральского энергетического института Уральского федерального университета, Екатеринбург.

afshorikov@mail.ru

Юсупова Нафиса Исламовна — доктор технических наук, профессор, декан факультета информатики и робототехники, заведующая кафедрой вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета.

yussupova@ugatu.ac.ru

Ячиков Игорь Михайлович — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники и программирования Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова.

jachikov@mail.ru

Научное электронное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

Труды Четвертой Международной научной конференции

Банное, Россия, 25 февраля — 1 марта 2015 года

Редактор *А. И. Мезяев*

Верстка и подготовка электронного издания *А. И. Мезяева*

Подписано к использованию 24.02.15.

Уч.-изд. л. 26,0. Заказ 10. Тираж 100 экз.

ФГБОУ ВПО «Челябинский государственный университет»
454001 Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129

Издательство Челябинского государственного университета
454021 Челябинск, ул. Молодогвардейцев, 57б