Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Челябинский государственный университет»
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» ИСА РАН
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
ФГБОУ ВПО «Уральский федеральный университет»

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

Труды Пятой Международной научной конференции

Банное, Россия, 24–28 февраля 2016 года

Научное электронное издание

Челябинск
Издательство Челябинского государственного университета
2016

ББК 381
И741

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

Челябинский государственный университет

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» ИСА РАН

Уфимский государственный авиационный технический университет

Уральский федеральный университет

Подготовлено по решению редакционно-издательского совета
Челябинского государственного университета

И741 **Информационные технологии и системы** [Электронный ресурс] : тр. Пятой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 24–28 февр. 2016 г. (ИТиС — 2016) : науч. электрон. изд. (1 файл 16,1 Мб) / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2016. 1 опт. диск. Систем. требования : PC не ниже класса Pentium I; 32 Mb RAM; свободное место на HDD 16,5 Mb; Windows не ниже 95/98; Adobe Acrobat Reader (19,6 Мб); дисковод DVD-ROM; мышь.

ISBN 978-5-7271-1343-1

Тематика конференции ориентирована на прикладные исследования в области информационных технологий и систем с использованием математического моделирования, теории управления, компьютерной лингвистики, интеллектуальных интернет-технологий и семантического web, инженерии знаний, онтологии, 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.

Предназначено для ученых, специалистов и преподавателей, работающих в области информатики и вычислительной техники.

ББК 381я431+397я431

ISBN 978-5-7271-1343-1

© Челябинский государственный университет, 2016

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ:

Председатель: Ю. С. Попков, член-корреспондент РАН (Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» ИСА РАН, Россия)

Заместитель председателя: А. В. Мельников (Челябинский государственный университет, Россия)

ЧЛЕНЫ КОМИТЕТА

B. Wenzel (University of Applied Sciences — Университет прикладных наук, Австрия)

B. Blessing (University of Applied Sciences — Университет прикладных наук, Австрия)

V. Kober (Universidad Nacional Autonoma de Mexico — Национальный автономный университет Мексики)

В. Л. Арлазаров, член-корреспондент РАН (Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» ИСА 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)

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 (Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» ИСА РАН, Россия)

А. В. Панюков (Южно-Уральский государственный университет, Россия)

А. Б. Петровский (Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» ИСА 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)

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

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

ОРГКОМИТЕТ

Председатель

В. А. Мельников (Челябинский государственный университет), тел. +7 (351) 799 72 88, mav@csu.ru

Члены оргкомитета:

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

Н. В. Маркова (Челябинский государственный университет), тел. +7 (351) 799 72 88, nvm@csu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Анцупов Г. Н., Балушкин Ф. А., Засельский В. Е., Сесекин А. Н.
Информационное обеспечение задачи маршрутизации, решаемой методом динамического программирования 8

Гарфутдинова А. Р., Макаровских Т. А.
О задаче составления расписания работы секций в автоматизированной системе управления конференцией 11

Дементьев О. Н.
Пограничный слой в запылённой среде 14

Макаровских Т. А.
Техника программной реализации задачи построения AOE-цепи в плоском 4-регулярном графе 17

Марченко А. А., Сесекин А. Н.
Об одной оптимальной контейнерной упаковке 21

Панюков А. В., Голодов В. А.
Программное обеспечение точных вычислений в гетерогенных средах и его применение 24

Петунин С. А.
Разработка статистических методов анализа исторических данных загрузки HPC-систем 30

Петунин А. А., Репницкий В. Б., Склярова Н. С.
Об одном способе аппроксимации ломаной линии для программирования круговой интерполяции инструмента машины листовой резки с ЧПУ 34

Савицкий Е. А.
Оценка эффективности маршрута вырезания прямоугольников для укладки, представленной в матричной форме 39

Старостин Н. Д.
Варианты расчёта минимального маршрута обработки 42

Шипачева Е. Н., Петунин А. А.
Об использовании генетического алгоритма для решения одной специальной задачи курьера с дополнительными ограничениями 49

Шориков А. Ф., Булаев В. В.
Формирование динамической модели ракеты-носителя для решения задачи стабилизации движения 54

Шориков А. Ф., Калёв В. И.
Формирование линейной дискретной динамической модели для решения задачи оптимального терминального управления расходом топлива ракеты-носителя 61

Секция 2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Билиженко И. В., Волхонский В. В.
Особенности решения задачи синтеза оптико-электронных пассивных инфракрасных извещателей с улучшенными характеристиками обнаружения 67

Боргест Н. М.
Информационная поддержка издательской деятельности на примере выпуска научного журнала «Онтология проектирования» 72

Ботов Д. С., Кленин Ю. Д.
Подход к определению меры семантической близости результатов обучения 76

Власов С. А., Коровин М. Д.
Оценка аэродинамических характеристик 3D-модели самолёта с помощью интеллектуального помощника проектанта 83

Громов А. А., Громов А. А.
Разработка системы интеллектуального помощника проектанта 86

Еникеева К. Р., Митакович С. А., Абдуллин А. Х.
Концепция поддержки принятия решений при разработке сценариев реагирования на чрезвычайные ситуации с использованием агентного моделирования и геоинформационных технологий 92

Кириллов К. В.
Оценивание показателей состояния аппаратно-программных комплексов при переменном объеме выборочных данных 95

Козько А. А.
Метод оценки семантического расстояния между сообщениями на образовательном форуме 99

Котельников В. А., Юсупова Н. И., Богданова Д. Р.
Поддержка принятия решений при управлении качеством оказания услуг финансового посредничества в системе моментальных платежей на основе технологий искусственного интеллекта 103

Курунова Р. Р.
Использование аппарата «Дом качества» для случая обработки несовпадающих оценок группы экспертов 115

Массель Л. В., Массель А. Г.
Разработка интеллектуальных семиотических систем для стратегического ситуационного управления в критических инфраструктурах (на примере энергетики) 119

Матковская О. Ю., Мельников А. В.
Применение тематического моделирования (Topic Modeling) в задачах автоматической генерации рабочей программы дисциплины (РПД) на основе модели предметной области дисциплины (МПОД) 126

Надточий И. Л.
Интеллектуальная веб-среда ИТ-дисциплины 131

Орлова А. А.
Алгоритм построения онтологии на основе анализа текстов на примере предметной области «Крыло самолета» 137

Петунин А. А., Полищук Е. Г.
Расчет тепловых полей при термической резке заготовок из листовых материалов 142

Сметанина О. Н., Рассадникова Е. Ю.
Программные решения в области управления транспортом 145

Чекалов Л. Л.
Информационные особенности биологических и технических систем в мультиагентном управлении 149

Шустова Д. В.
Методика создания онтологий при разработке информационных систем на примере предметной области «Проектирование и производство авиационной техники» 152

Юсупова Н. И., Сметанина О. Н., Гаянова М. М., Климова А. В.
Об использовании метода экспертных оценок при формировании образовательного маршрута 155

Секция 3. ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Ахуньянова К. Б.
Влияние структурных решений на свойства параметров модели интервального оценивания показателей надежности технических изделий 160

Бельтюков А. П.
Понимание задач информатики в условиях противодействия 163

Боровский А. С., Тарасов А. Д.
Методы и алгоритмы в задачах проектирования систем физической защиты объектов информатизации на основе обработки нечеткой информации 168

Гараев Р. А., Батухтина С. В.
Экспериментальная оценка ресурсов микроконтроллеров с ARM-архитектурой для поддержки криптоалгоритмов 173

Косенко М. Ю.
Многоагентная система выявления и блокирования ботнетов на основе распределённой атаки типа «Отказ в обслуживании» 176

Костин В. Н., Боровский А. С.
Оптимизация организационной структуры системы физической защиты (СФЗ) на основе информационного подхода 181

Марков А. С., Рауткин Ю. В.
Вопросы стандартизации разработки безопасных программ 186

Саляхова А. Р.
Современное состояние нормативно-законодательной базы в области защиты информации в государственных информационных системах 189

Субхангулова А. С.
Инструментальная поддержка выявления дефектов на стадии реализации программных проектов 193

Шангареев Р. З., Мечинзов А. Д., Зырянова А. А.
Обеспечение информационной безопасности при тестовом контроле знаний обучающихся 196

Секция 4. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ЭКОНОМИКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Абакумов Е. М., Кожевников Н. О., Сбитнев С. Е.
Система сбора и обработки данных о технологическом процессе как элемент системы управления производством 199

Алюков С. В.
Анализ данных в выявлении жизненных ценностей современных студентов 202

Березин И. М., Залазинский А. Г., Нестеренко А. В.
Моделирование процесса эластостатического компактирования порошкообразного титаносодержащего сырья 207

Буценко Е. В.
Интеллектуальные методы анализа больших данных и их применение в инвестиционном проектировании 213

Вербов Д. В.
Анализ факторов, влияющих на выбор методов интеграции, с позиций производительности и надежности информационных систем 217

Глимшина К. А., Богданова Д. Р., Максимов Д. А.
Системные модели городской транспортной инфраструктуры в районе Южного автовокзала города Уфы 219

Горбатова Е. А., Емельяненко Е. А., Зарецкий М. В.
Система поддержки принятия решений для проектирования технологии комплексного освоения колчеданных месторождений 224

Зарецкая М. А., Зарецкий М. В.
Курс высшей математики и мобильные сервисы 227

Ионис А. Г., Максименко З. В., Сметанина О. Н.
Модель развития отрасли информационно-коммуникационных технологий 230

Кирюшкин М. А., Пашкевич Д. В.
Организация эксперимента по исследованию влияния света определенной длины волны и длительности суточного режима на растения 237

Куликов Г. Г., Бармин А. А.
Business Intelligence — методологический и информационно-технологический аспект 243

Куликов Г. Г., Бармин А. А., Шилина М. А., Шамиданов Д. Г.
Описание бизнес-процессов в соответствии с иерархией Хомского 249

Максименко З. В., Федорова К. А., Медведева Е. В.
Разработка комплексной стратегии управления взысканием задолженности 255

Мельников В. А.
Современные тенденции развития технического анализа финансовых рынков 261

Николаев И. Е., Петриченко Ю. В.
Применение технологий textmining для контент-анализа мнений потребителей рынка гостиничных услуг 266

Панюкова А. А., Дударева В. И.
О возможных путях формирования компетенций у школьников при работе в информационном поле.....270

Полищук Ю. В., Черных Т. А., Полищук П. В.
Идентификация состояния коллекторно-лучевой системы сбора продукции Оренбургского газоконденсатного месторождения.....273

Розанова Л. Ф., Лакман И. А., Турутина А. Д.
Разведочный анализ и подготовка данных для моделирования стоимости объектов жилой недвижимости на региональных рынках 277

Скрипов С. А.
Применение облачных технологий в образовательном процессе 283

Фельк З. А.
Перспективы использования облачных технологий в банковской сфере.....286

Чендулаева К. Б., Розанова Ж. Б., Яфаева А. М.
Интеграция стохастической модели планирования производственной программы с IT-инфраструктурой предприятия.....289

Шахмаметова Г. Р.
О некоторых аспектах принятия решений при управлении в сложных системах.....293

Шориков А. Ф., Султанахметов Д. Р.
Выявление и анализ требований рынка программных средств управления строительными проектами 297

Ячиков М. И., Ячиков И. М., Сичная М. А.
Моделирование теплового состояния внутреннего кристаллизатора электрошлаковой печи 304

ББК В183.47
УДК 519.857

Г. Н. Анцупов, Ф. А. Балушкин, В. Е. Засельский, А. Н. Сесекин

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧИ МАРШРУТИЗАЦИИ, РЕШАЕМОЙ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Рассматривается информационная система, создающая информационное обеспечение для организации решения задачи маршрутизации с помощью метода динамического программирования. Отличительной особенностью рассматриваемой задачи маршрутизации является то, что функция стоимости зависит от списка невыполненных заданий.

Маршрутная оптимизация впервые рассматривалась для задачи минимизации суммарной дозы облучения персоналом при демонтаже радиационно опасного оборудования в [1]. Эта задача аналогична известной задаче коммивояжера [2], но отличается от нее тем, что функция затрат зависит от списка невыполненных заданий. Кроме того, на маршрут движения накладываются так называемые условия предшествования. Для этой задачи был разработан вариант метода динамического программирования [3–5]. Построение функции, с помощью которой вычисляется функционал (суммарная доза облучения вдоль маршрута), является самостоятельной трудоемкой задачей. В связи с этим предложена информационная система, формирующая сначала демонтируемую конструкцию как совокупность элементарных геометрических фигур с их фиксированным положением, известной интенсивностью излучения. Для сформированной задачи вычисляются функции, характеризующие дозу облучения, которую получают работники при перемещениях между элементами конструкции и при выполнении работ по демонтажу объекта. Построенные функции подключаются к программам маршрутной оптимизации, с помощью которых определяется оптимальная последовательность выполнения работ, обеспечивающая суммарную минимальную дозу облучения персонала. Оптимальный маршрут строится с учетом ограничений в виде условий предшествования, порожденных технологическими ограничениями.

Математическая постановка задачи. Пусть N — натуральное число, $N>2$. Рассмотрим отображение

$$(i, j, K) \to c_{i,j}[K] : \overline{0,N} \times \overline{1,N} \times \mathrm{N} \to [0, \infty[,$$

где i, j пара последовательных точек в маршруте обхода множества $\overline{1,N}$; K есть множество пар, в которых точка с номером j посещается после точки с номером i (очевидно, что j принадлежит K); N — семейство всех непустых подмножеств множества $\overline{1,N}$. Величина $c_{i,j}[K]$ характеризует затраты на перемещение из точки i в точку j при условии, что точки, входящие в K, не посещались ранее. Как и в традиционной задаче коммивояжера [2], будем рассматривать перестановку α из $\overline{1,N}$ в качестве маршрута задачи. Будем обозначать базу номером 0, из которой начинаются все маршруты. Оценку затрат вдоль маршрута будем оценивать с помощью следующей функции:

$$\pi(\alpha) = c_{0,\alpha(1)}\left[\overline{1,N}\right] + \sum_{i=2}^{N} c_{\alpha(i-1),\alpha(i)}\left[\left\{\alpha(j) : j \in \overline{i,N}\right\}\right] =$$

$$= c_{0,\alpha(1)}\left[\overline{1,N}\right] + \sum_{i=1}^{N-1} c_{\alpha(i),\alpha(i+1)}\left[\overline{1,N} \setminus \left\{\alpha(j) : j \in \overline{1,i-1}\right\}\right]. \quad (1)$$

На выбор маршрута накладываются условия предшествования. Пусть **K** — фиксированное множество из элементов $\overline{1,N}$. Каждый элемент **K** состоит из пар вида (p, q), где p и q являются элементами множества $\overline{1,N}$. Причем p есть индекс отправителя, а q — индекс получателя. Случай $\mathbf{K} = \varnothing$ исследован в [3], общий случай в [4; 5]. Через α^{-1} обозначим перестановку из $\overline{1,N}$, обратную к α: $\alpha(\alpha^{-1}(k)) = \alpha^{-1}(\alpha(k)) = k$ для всех k из $\overline{1,N}$. Множество допустимых маршрутов имеет вид

$$\mathrm{A} := \{\alpha \in \mathrm{P} | \alpha^{-1}(pr_1(h)) < \alpha^{-1}(pr_2(h)) \forall h \in \mathrm{K}\}.$$

Здесь $pr_1(h)$ есть первая координата вектора h, а $pr_2(h)$ есть вторая координата вектора h.

Далее будем предполагать выполненным условие: для любого непустого множества K из **K** необходимо, чтобы существовал элемент y из K, что $pr_1(y) \neq pr_2(z)$ для всех z из K.

Рассмотрим следующую экстремальную задачу:

$$\pi(\alpha) \to \min, \alpha \in \mathrm{A}. \quad (2)$$

Для значения задачи мы введем обозначение

$$V := \min \pi(\alpha), \alpha \in \mathrm{A}.$$

Метод динамического программирования. Решать задачу (2) будем с помощью некоторой модификации метода динамического программирования. Введем множество

$$\Sigma[K] := \{z \in \mathrm{K} \,|\, (pr_1(z) \in K) \,\&\, (pr_2(z) \in K).$$

Как и в [2], обозначим через **I** оператор, действующий по правилу

$$\mathrm{I}(K) := K \setminus \{pr_2(z) : z \in \Sigma[K]\}.$$

Если $K \in \mathrm{N}$, тогда (bi)[K] есть множество всех биекций α: $\overline{1,|K|} \to K$. Будем полагать, что для

всякого K $(\mathrm{I}-\mathrm{bi})[K]$ есть множество всех биекций $\alpha \in (\mathrm{bi})[K]$, таких, что при $n = |K|$.

Введем укороченную версию критерия (1). Если $K \in \mathrm{N}$, то

$$\pi_K^{(i)}(\alpha) = c_{i,\alpha(1)}[K] + \sum_{j=2}^{|K|} c_{\alpha(j-1),\alpha(j)}\left[\left\{\alpha(l) : l \in \overline{j,|K|}\right\}\right] =$$

$$= c_{i,\alpha(1)}[K] + \sum_{j=1}^{|K|-1} c_{\alpha(j),\alpha(j+1)}\left[\left\{\alpha(l) : l \in \overline{j+1,|K|}\right\}\right].$$

Теперь рассмотрим следующую укороченную задачу:

$$\pi_K^{(i)}(\alpha) \to \min, \alpha \in (\text{I-bi})[K].$$

В частности, когда $K = \overline{1,N}$ и $i = 0$,

$$\pi_K^{(i)}(\alpha) = \pi(\alpha).$$

Экстремум укороченной задачи вводится следующим образом:

$$v(i,K) = \min_{\alpha \in (\text{I-bi})[K]} \pi_K^{(i)}(\alpha). \quad (3)$$

В частности $V = v(0,\overline{1,N})$. Будем полагать, что

$$v(i,\varnothing) := 0. \quad (4)$$

Условия (3) и (4) определяют функцию Беллмана $v(i,K)$.

Теорема. Если $K \in \mathrm{N}$ и $i \in \overline{0,N} \setminus K$, то справедливо уравнение Беллмана

$$v(i,K) = \min_{k \in \mathrm{I}(K)} (c_{i,k}[K] + v(k, K \setminus \{k\})). \quad (5)$$

Справедливость теоремы следует из [3; 4].

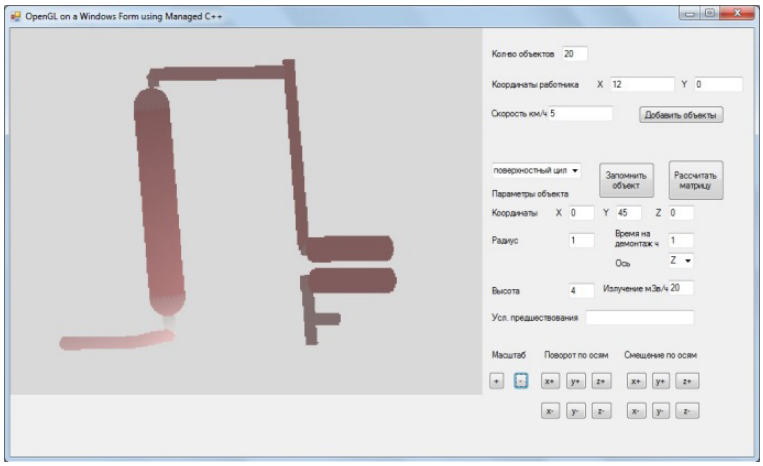
Вычислительная процедура для функции Беллмана основана на построении ее в обратном «времени» начиная с конца процесса. Сначала она определяется на всех одноэлементных множествах, затем на всех двухэлементных множествах и так далее. На каждом шаге используется уравнение Беллмана (5). Подробно процедура описана в [4]. Предложенная процедура является достаточно экономичной и не требует построения функции Беллмана на всем пространстве позиций. Построение оптимального маршрута осуществляется уже в прямом «времени».

Информационная система для построения целевой функции. Демонтируемая конструкция разбивается на совокупность элементарных тел, которыми являются цилиндр, труба, сфера, полусфера, параллелепипед, параметрически заданная поверхность. Значение функции определяется «транспортной» составляющей — величиной дозы облучения, которую получает работник при перемещении от *i*-го объекта до *j*-го объекта, к которой добавляется доза радиации, которую получает работник при демонтаже *j*-го объекта. При этом доза облучения складывается из дозы, которую создает демонтируемый объект, а также все не демонтированные на данный момент объекты. «Транзитная» составляющая вычисляется с учетом траектории перемещения (отрезки прямых) и скорости перемещения вдоль отрезков. Доля облучения, получаемая при демонтаже текущего объекта, определяется временем демонтажа и интенсивностями излучения недемонтированных элементов и их расположением на объекте.

Иллюстративный пример. На рисунке показано меню программы. Исходные данные заводятся с помощью этого меню. Объект состоит из набора элементарных тел (в данном случае цилиндров). Заводятся координаты центров элементов, указывается, как они сориентированы, приводится интенсивность излучения каждого из элементов, время их демонтажа.

Программа создает визуализацию объекта демонтажа. Предусмотрена возможность вращения модели объекта по осям координат.

Элемент	Координаты элемента, м	Линейный размер, м	Радиус элемента, м	Время демонтажа, ч	Интенсивность излучения, мЗв/ч
1	(1,15; 0,75; 0,2)	1,5	1	0,5	3
2	(0,65; 1,5; 0,2)	1	1	0,5	3
3	(0,15; 1,5; 0,35)	0,03	1	0,3	2
4	(0,150; 1,5; 2,3)	3,6	3	1,5	10
5	(0; 1,5; 4,2)	0,2	1	0,2	3
6	(0; 3; 4,3)	3	1	0,5	6
7	(0; 4,5; 2,8)	0,2	1	0,5	8
8	(0; 4,65; 1,31)	1,6	1	0,2	2
9	(0; 5,8; 1,31)	1,6	2	0,7	9
10	(0; 5,8; 1,01)	1	2	0,7	9
11	(0; 4,65; 1,01)	3	1	0,2	2
12	(0,5; 4,65; 1,01)	0,5	1	0,5	5
13	(1; 4,65; 1,01)	0,5	1	0,3	3
14	(1; 4,8; 0,86)	0,3	1	0,2	2



В таблице приведены характеристики каждого элемента в отдельности.

Искомый маршрут должен быть подчинен следующим условиям предшествования (посещение второго элемента в упорядоченной паре должно происходить после посещения первого): (9,7); (11,4); (4,5); (4,6); (1,2); (1,4); (14,5).

Ниже приведены результаты работы программы, осуществляющей минимизацию суммарной дозы облучения с помощью метода динамического программирования:

Полученная доза радиации: 285,740108704887 мЗв/ч.

Оптимальный маршрут:
9-->7-->10-->3-->8-->11-->12-->13-->14-->1-->4-->5-->6-->2

Библиографический список

1. Ташлыков, О. Л. Разработка оптимальных алгоритмов вывода АЭС из эксплуатации с использованием методов математического моделирования / О. Л. Ташлыков, А. Н. Сесекин, С. Е. Щеклеин, А. Г. Ченцов // Изв. вузов. Ядер. энергетика. 2009. № 2. С. 115–120.

2. Ченцов, А. Г. Экстремальные задачи маршрутизации перемещений и распределения заданий: вопросы теории / А. Г. Ченцов. Ижевск, 2008. 240 с.

3. Балушкин, Ф. А. Об одном варианте задачи коммивояжера / Ф. А. Балушкин, А. Н. Сесекин, Ю. А. Фрейберг, А. Г. Ченцов // Вестн. компьютер. и информ. технологий. 2009. № 12. С. 45–50.

4. Сесекин, А. Н. Обобщенная задача курьера с функцией затрат, зависящей от списка заданий / А. Н. Сесекин, А. А. Ченцов, А. Г. Ченцов // Изв. РАН. Теория и системы упр. 2010. № 2. С. 68–77.

5. Chentsov, A. G. On One Modification of Traveling Salesman Problem Oriented on Application in Atomic Engineering / A. G. Chentsov, A. N. Sesekin, A. N. Shcheklein, O. L. Tashlykov // American Institute of Physics. Conference Proceeding. 2010. Vol. 1293. P. 197–202.

Сведения об авторах

Анцупов Григорий Николаевич — студент кафедры прикладной математики Уральского энергетического института Уральского федерального университета, Екатеринбург.

Балушкин Филипп Андреевич — старший преподаватель кафедры прикладной математики Уральского энергетического института Уральского федерального университета, Екатеринбург.

Засельский Виктор Евгеньевич — магистрант Института радиоэлектроники и информационных технологий Уральского федерального университета, Екатеринбург.

Сесекин Александр Николаевич — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики Уральского энергетического института Уральского федерального университета, Екатеринбург. sesekin@list.ru

---

G. N. Antsupov, F. A. Balushkin, V. E. Zaselsky, A. N. Sesekin

INFORMATION SUPPORT OF THE ROUTING PROBLEM, SOLVING BY THE DYNEMIC PROGRAMMING METHOD

We consider the information systems created to provide information to the organization for solving the problem of routing using dynamic programming method. A distinctive feature of the problem of routing is that the cost function depends on the list of outstanding tasks.

ББК Ч25с51
УДК 001

А. Р. Гарфутдинова, Т. А. Макаровских

О ЗАДАЧЕ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ РАБОТЫ СЕКЦИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИЕЙ

Рассматривается эвристический алгоритм составления расписания заседаний секций с помощью автоматизированной системы управления конференцией на платформе «1С: Предприятие 8.3».

В настоящее время неотъемлемой частью деятельности высших учебных заведений является регулярное проведение научных конференций, семинаров, совещаний и др. Основная цель организации подобных научных мероприятий в учебных заведениях — это развитие и поддержка научных исследований как основы фундаментализации образования, как базы подготовки работников квалифицированного труда в соответствии с потребностями государства и общества. Масштабы научных мероприятий могут достигать как межвузовских и региональных, так и международных уровней. Такие собрания требуют интенсивной работы, полной отдачи со стороны всех ее участников, главным образом организаторов. Так, для проведения научного мероприятия на высококачественном уровне необходима основательная подготовка. Важно оправдать ожидания участников конференций, так как высокий уровень организации является основанием для укрепления статуса конференции, увеличения количества участников, привлечения интересных докладчиков. Эффективность подготовки и проведения мероприятия в значительной степени повышается за счет использования оргкомитетом вспомогательных программных средств.

В настоящее время известно немало программного обеспечения для помощи оргкомитету в сборе и систематизации информации. Большинство известных ресурсов удобны и позволяют быстро и качественно собрать информацию об участниках конференции, загрузить и провести рецензирование их докладов. Тем не мене для организации любой конференции недостаточно тех сервисов, которые предлагают данные ресурсы.

Например, ни один из известных российских и зарубежных интернет-сервисов не позволяет решить всю совокупность вопросов по организации конференции [1].

В работах [2–3] авторами рассмотрено создание конфигурации на базе платформы «1С: Предприятие 8.3». В статьях приводятся алгоритмы функционирования сервисов ручного распределения участников конференции по забронированным номерам гостиницы и составления расписания услуг сопровождения участников членами оргкомитета.

В данной статье рассмотрим математическую модель, используемую при автоматизированном составлении расписания работы секций конференции.

Для решения данной задачи потребуется следующая информация:

1. **Об участниках конференции:** тип их доклада (пленарный, секционный, расширенный и т. д.), дата и время приезда и отъезда участника. Последние два параметра будут однозначно определять допустимое время для доклада данного участника.

2. **О секциях, проводимых на конференции:** здесь определяющими параметрами являются дата и время начала и окончания заседаний и место проведения секции.

3. **О залах заседаний, в которых проводятся секции:** включая время, когда свободны данные залы (или время аренды помещения).

При составлении математической модели будем руководствоваться следующими **допущениями**:

1. Одна секция может иметь несколько заседаний, каждое из которых состоит как минимум из N докладов.

2. На заседании секции назначается ведущий из числа участников конференции. Ведущий обязан присутствовать на всех докладах.

3. В одном и том же зале в разное время могут проводиться разные секции.

4. В один момент времени может проводиться несколько секций. Число секций не превышает числа имеющихся залов.

Для решения поставленной задачи воспользуемся методами объемно-календарного планирования. Задача объёмно-календарного планирования математически может быть описана или с учетом всех возможных ограничений и связей, или с некоторой степенью идеализации.

Содержательно задача объемно-календарного планирования формулируется следующим образом. Требуется распределить общий план предприятия в объёмных характеристиках (нормо-часы, рубли, условные тонны) по различным показателям: группам оборудования, периодам планирования, этапам изготовления, потребляемым ресурсам, видам продукции. Показатели искомого плана делятся:

– на «жесткие», выполнение которых обязательно;

– «желательные», к выполнению которых нужно стремиться.

«Жесткие» показатели формализуются в виде ограничений, а «желательные» — в виде критериев

оптимальности. Тогда задача объёмно-календарного планирования ставится как многокритериальная задача (учет «желательных» показателей) с ограничениями (учет «жестких» показателей), которые в рассматриваемой идеализации являются линейными.

Особенности рассматриваемых задач объёмно-календарного планирования:

– параметры математической модели являются многоиндексными, причем число индексов может быть различным, в зависимости от рассматриваемой задачи;

– ограничения математической модели представляют собой систему линейных алгебраических неравенств транспортного типа, каждое из которых получается суммированием по некоторым индексам;

– критерии оптимизационных задач задаются в виде ступенчатых функций, аргументами которых также являются суммы значений варьируемых параметров по некоторым индексам.

Пусть:

s — номер секции конференции, $s = 1, ..., S$;

p — номер участника, $p = 1, ..., P$;

r — номер зала заседания, $r = 1, ..., R$;

t — период планирования (под периодом будем понимать либо день конференции, либо отдельные заседания), $t = 1, ..., T$.

К показателям искомого расписания могут относиться, например, величины:

A_t — количество докладов, которые можно организовать в период планирования t;

B_{pt} — количество докладов, которые могут быть сделаны участником p в период t;

C_{rt} — количество докладов, которое должно быть организовано в зале r в период t;

D_{sr} — количество докладов, которые могут быть организованы на секции s в зале r;

a_{srpt} — доклады, оставшиеся нераспределенными на секции s в зале r участником p в период t, $s=\overline{1,S}$, $p=\overline{1,P}$, $r=\overline{1,R}$, $t=\overline{1,T}$.

Показатели искомого расписания могут быть и другими, но формулируемыми с использованием введенных выше индексов.

Пусть к «жестким» показателям искомого расписания относятся показатели A_t, C_{rt}, D_{sr}, а B_{pt} является «желательным». Тогда задача объемно-календарного планирования формулируется следующим образом:

Требуется определить такие величины x_{srpt} — доклады, которые будут сделаны на секции s в зале r участником p в период планирования t, для которых выполняются соотношения:

$$\sum_{s=1}^{S}\sum_{p=1}^{P}\sum_{r=1}^{R} x_{sprt} \le A_t,\ t=\overline{1,T}; \qquad (1)$$

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{s=1}^{S} x_{sprt} \ge C_{rt},\ r=\overline{1,R},\ t=\overline{1,T}; \qquad (2)$$

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} x_{sprt} \le D_{sr},\ s=\overline{1,S},\ r=\overline{1,R}; \qquad (3)$$

$$0 \le x_{sprt} \le a_{sprt},$$
$$s=\overline{1,S},\ p=\overline{1,P},\ r=\overline{1,R},\ t=\overline{1,T}, \qquad (4)$$

с учетом минимизируемых критериев:

$$\left|\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R} x_{sprt} - B_{pt}\right| \to \min,$$
$$p=\overline{1,P},\ t=\overline{1,T}. \qquad (5)$$

Приведем содержательный смысл введенных ограничений:

(1) количество докладов на всех секциях, во всех залах и у всех докладчиков не должно превышать общего числа докладов, которые могут быть сделаны в период t;

(2) запланированные доклады в каждом зале у каждого участника и на каждой секции в каждый промежуток времени должны быть сделаны;

(3) количество докладов по всем участникам и всем периодам планирования не должно превышать количества докладов, которые могут быть выполнены по соответствующим секциям в соответствующих аудиториях;

(4) ограничения неотрицательности являются естественными условиями на переменные.

Функции

$$\left|\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R} x_{sprt} - B_{pt}\right| \to \min,$$
$$p=\overline{1,P},\ t=\overline{1,T}$$

являются функциями оценок отклонений количества докладов от заданной величины B_{pt} — «желательного» показателя искомого плана, $p=\overline{1,P}, t=\overline{1,T}$. Пользователю проще указать лишь границы величин отклонения, в которых они определяют понятие «отлично», «хорошо», «допустимо», «недопустимо» и др. Такие функции являются кусочно-постоянными, разбивающими множество величин отклонений по каждому критерию на области «качества» отклонений. Такими функциями могут быть функции, область значений которых задается множеством целых неотрицательных чисел (0 — «отлично», 1 — «очень хорошо» и т. д.). При разных схемах выбора «жестких» и «желательных» показателей искомого плана по-разному ставятся задачи объёмно-календарного планирования.

Особенности рассматриваемой задачи объёмно-календарного планирования:

– параметры математической модели являются многоиндексными, в рассматриваемой задаче число индексов равно четырем;

– ограничения математической модели представляют собой систему линейных алгебраических неравенств транспортного типа, каждое из которых получается суммированием по некоторым индексам;

– критерии оптимизационных задач задаются в виде ступенчатых функций, аргументами которых также являются суммы значений варьируемых параметров по некоторым индексам.

Решение поставленной многокритериальной задачи будем осуществлять сведением её к однокритериальной.

Введем переменные $u_{pt} = \{0,1\}$, $p = \overline{1,P}$, $t = \overline{1,T}$ и рассмотрим задачу булева линейного программирования:

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} u_{pt} \to \min_{u,x},$$

$$-u_{pt} \le \sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R} x_{sprt} - B_{pt} \le u_{pt},$$

$$p = \overline{1,P},\ t = \overline{1,T},\ u \in \{0;1\},\ x \in X,$$

где x — множество решений, удовлетворяющих ограничениям (1)–(4).

Данные для составляемых матриц могут быть получены на стороне сервера соответствующими запросами к записям справочников и регистров сведений.

Библиографический список

1. Панюкова, Т. А. Информационная база для организации документооборота научной конференции / Т. А. Панюкова // Новые информационные технологии в образовании : сб. науч. тр. М., 2013. С. 193–194.

2. Гарфутдинова, А. Р. Разработка автоматизированной системы для организации научной конференции на базе платформы 1С:Предприятие 8.3 / А. Р. Гарфутдинова // Наука. Технологии. Инновации : сб. науч. тр. : в 9 ч. / под ред. С. В. Макарова. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2015. С. 56.

3. Гарфутдинова, А. Р. Автоматизированная система для организации и проведения конференции / А. Р. Гарфутдинова, Т. А. Макаровских // Соврем. информ. технологии и ИТ-образование. 2015. Т. 2, № 1. С. 84–90.

Сведения об авторах

Гарфутдинова Алина Рамилевна — магистрант первого курса Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета), Челябинск. alina_garfutdinova@mail.ru

Макаровских Татьяна Анатольевна — кандидат физико-математических наук, доцент Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета), Челябинск. kwark@mail.ru

---

A. R. Garfutdinova, T. A. Makarovskikh

ON PROBLEM OF SCEDULING FOR AUTOMATED SYSTEM OF CONFERENCE MANAGEMENT

The heuristic algorithm for conference sections scheduling is considered. This algorithm is planned to be realized on 1C:Enterprise 8.3 platform.

ББК В253
УДК 531

О. Н. Дементьев

ПОГРАНИЧНЫЙ СЛОЙ В ЗАПЫЛЁННОЙ СРЕДЕ

Приводятся результаты решения задачи о влиянии твердых частиц примеси на формирование пограничного слоя газа около горизонтальной пластины. Развитие пограничного слоя тормозится тяжелыми частицами, которые отстают от изменений скорости несущей среды около стенки.

1. В геометрически простом случае ламинарного течения вдоль плоской пластины представляется приемлемым учитывать в модифицированных уравнениях Навье — Стокса силу воздействия частиц и попытаться получить решение для измененного частицами пограничного слоя газа. Обычное развитие погранслоя тормозится, т. к. частицы не в точности следуют за замедлением газа вблизи стенки. Этот эффект будет ярко выражен при малых значениях длины релаксации $x < \dfrac{a^2\rho_p u_0}{18\mu}$, где приняты следующие обозначения: u_0 — скорость свободного потока в неограниченном пограничном слое; d — диаметр частицы; ρ_p — плотность частиц; μ — коэффициент динамической вязкости газа, и менее ощутим при существенно бóльших значениях x, т. е. $x << \dfrac{a^2\rho_p u_0}{18\mu}$.

Нормальная к стенке компонента скорости газа υ_f превышает соответствующую скорость частиц υ_s. Это приводит к увеличению концентрации частиц вблизи стенки при больших значениях x, т. е. важно учитывать меняющуюся концентрацию частиц в пограничном слое.

2. Уравнения Навье — Стокса значительно упрощаются для описания двумерных пограничных слоев в потоках взвесей твердых частиц таким же образом, как и для однородного потока [1; 2]. Уравнение неразрывности для несжимаемой среды:

$$\frac{\partial u_f}{\partial x} + \frac{\partial \upsilon_f}{\partial y} = 0, \qquad (1)$$

где скорость газа (u_f, υ_f), а для частиц всегда следует использовать уравнение неразрывности, записанное для сжимаемой среды:

$$\frac{\partial \rho_{ds} u_s}{\partial x} + \frac{\partial \rho_{ps} \upsilon_s}{\partial y} = 0. \qquad (2)$$

Уравнение закона сохранения импульса для газа в направлении течения:

$$u_f \frac{\partial u_f}{\partial x} + \upsilon_f \frac{\partial u_f}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_f}\frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u_f}{\partial x^2} + \frac{\rho_{ds}(u_s - u_f)}{\rho_f \lambda_m},$$

$$\lambda_m = \frac{\rho_p d^2}{18\mu}. \qquad (3)$$

Изменением импульса газа перпендикулярно пластине пренебрегается. Соответственно, для твердых частиц примеси в приближении Стокса:

$$u_s \frac{\partial u_s}{\partial x} + \upsilon_s \frac{\partial u_s}{\partial y} = -\frac{(u_s - u_f)}{\lambda_m},$$

$$u_s \frac{\partial \upsilon_s}{\partial x} + \upsilon_s \frac{\partial \upsilon_s}{\partial y} = -\frac{(\upsilon_s - \upsilon_f)}{\lambda_m}. \qquad (4)$$

Уравнение баланса тепловой энергии газа в пренебрежении вязкой диссипацией имеет следующий вид:

$$\rho_f C_f (u_f \frac{\partial T_f}{\partial x} + v_f \frac{\partial T_f}{\partial y} =$$

$$= K_f \frac{\partial^2 T_f}{\partial y^2} + \frac{\rho_{ds} C_s (T_s - T_f)}{\lambda_T}, \qquad (5)$$

а для частиц —

$$u_s \frac{\partial T_s}{\partial x} + \upsilon_s \frac{\partial T_s}{\partial y} = -\frac{(T_s - T_f)}{\lambda_m}, \qquad (6)$$

где $\lambda_T = \dfrac{2C_s}{3l_f}\mathrm{Pr}_f\,\lambda_m$, Pr_f – число Прандтля для несущего газа или жидкости.

3. Для области равновесного течения на достаточном расстоянии от передней кромки обтекаемой потоком газа пластины, когда $\dfrac{m_p u_0}{3\delta dx} << 1$, можно оценить касательные напряжения на стенке (λ_s) для развивающегося пограничного слоя, если предположить, что $\upsilon_f = \upsilon_s$:

$$\frac{2\lambda_s}{\rho_f u^2{}_0} = \frac{0.664}{\mathrm{Re}_x{}^{0.5}}(1 + \frac{\rho_{ds}}{\rho_f})^{0.5}[1 + \frac{0.49\rho_f d^2 \rho_s}{18\mu(\rho_{ds} + \rho_f)}]. \qquad (7)$$

Касательные напряжения увеличиваются на стенке за счет примеси частиц по сравнению со случаем однородной несущей среды [3]:

$$2\frac{\lambda_0}{\rho_f u_0{}^2} = \frac{0.664}{\mathrm{Re}_x{}^{0.5}}.$$

В большинстве реальных ситуаций длина релаксации по Стоксу превышает критическую длину вдоль плоской пластины $x_{кр}$, на которой ламинарный пограничный слой однородного потока разрушается и переходит в турбулентный режим:

$\mathrm{Re}_{кр} = \dfrac{u_0 x_{кр} \rho_f}{\mu}$, где $5 \cdot 10^5 < Re_{кр} < 3 \cdot 10^6$ ($x_{кр}$ мо-

жет составить 230 мм для воздушного потока, имеющего скорость 30 м/с, тогда как соответствующая длина релаксации для металлических частиц диаметром 30 мкм будет более, чем в два раза больше).

4. Диффузия в изотермическом ламинарном потоке, движущемся вдоль «растворимой» горизонтальной пластины.

Рассмотрим поток, который содержит компонент *A*, слабо «растворимый» в газе *B*. Концентрация на поверхности пластины C_{A0} равна «растворимости» вещества *A* в среде *B*, а концентрация *A* вдали от пластины составляет $C_{A\infty}$. Примем $C_{A\infty} = 0$ и допустим, что поведение системы может быть описано методами пограничного слоя; концентрация «растворимого» вещества мала и что плотность ρ и динамическая вязкость μ фактически постоянны по всему объему несущей среды. Теперь уравнение неразрывности [4]

$$\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} + \frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} = 0, \qquad (8)$$

уравнение движения

$$\upsilon_x \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} + \upsilon_y \frac{\partial \upsilon_x}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial y^2}, \qquad (9)$$

а для компонента *A* уравнение неразрывности

$$\upsilon_x \frac{\partial C_A}{\partial x} + \upsilon_y \frac{\partial C_A}{\partial y} = D_{AB} \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2},$$

где D_{AB} — коэффициент диффузии компонента *A* в среду *B*.

Из уравнений (8) и (9) можно найти распределение продольной компоненты скорости $\upsilon_x(x, y)$ в зависимости от C_A:

$$\upsilon_x \frac{\partial C_A}{\partial x} - \left(\int_0^y \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} dy \right) \frac{\partial C_A}{\partial y} = D_{AB} \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2}, \qquad (10)$$

с граничным условием $\upsilon_y = 0$ при $y = 0$, что верно при малых скоростях массоотдачи.

Последнее уравнение можно проинтегрировать по *y* и получить выражение для скорости абсорбции при $y = 0$:

$$N_{Ay} = \frac{d}{dx}[\delta_y \upsilon_\infty (C_{A0} - C_{A\infty})], \qquad (11)$$

в котором «смешанная» концентрационная толщина δ_y равна

$$\delta_y = \int_0^\infty \frac{\upsilon_x}{\upsilon_\infty}[1 - \frac{(C_{A0} - C_A)}{(C_{A0} - C_{A\infty})}]dy.$$

В нашем случае $C_A = 0$; введем также безразмерную скорость $\varphi = \upsilon_x / \upsilon_y$ и безразмерную концентрацию $\Gamma = \frac{(C_{A0} - C_A)}{C_A}$. Теперь уравнение (11) при $y = 0$ запишем так:

$$\frac{D_{AB}}{\upsilon_\infty} \cdot \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{d}{dx} \int_0^\infty \varphi(1 - \Gamma) dy. \qquad (12)$$

Введем следующие «подобные» профили: $\varphi = \varphi(\eta)$, где $\eta = y/\delta(x)$, $\Gamma = \Gamma(\eta_c)$, где $\eta_c = y/\delta_c(x)$, то есть толщины гидродинамического (δ) и диффузионного (δ_c) пограничных слоев имеют различную величину.

Записав уравнение (12) в переменных η и η_c, найдем при $\eta_C = 0$:

$$\frac{D_{AB}}{\upsilon_\infty} \cdot \frac{\partial T}{\partial \eta_C} \cdot \frac{1}{\delta(x)\Delta(x)} =$$

$$= \frac{d}{dx}\{\int_0^1 \varphi(\eta_C)[1 - \Gamma(\eta_C)] d\eta_C \cdot \delta(x)\Delta(x)\} + O(\Delta^2).$$

Выберем для примера простейшие функции: $\varphi(\eta) = \eta$, $\Gamma(\eta_C) = \eta_C$ для $\eta \le 1$ и $\varphi(\eta) = 1$, $\Gamma(\eta_C) = 1$, для $\eta > 1$, тогда $\delta(x) = \sqrt{\frac{12\nu x}{\upsilon_\infty}}$, т. е. получена зависимость толщины пограничного слоя от параметров задачи. Развитие пограничного слоя из-за наличия в потоке твердых частиц тормозится. Если нормальная составляющая (по отношению к стенке) скорости газа υ_f превышает соответствующую составляющую скорости частиц υ_s, то это приводит к увеличению концентрации частиц вблизи стенки при больших значениях продольной координаты. Таким образом, важно учитывать изменение концентрации частиц примеси в пограничном слое.

При малых значениях массовой концентрации примеси критическое число Рейнольдса $\mathrm{Re}^* = u_0\delta^* / \nu$ (δ^*— толщина вытеснения пограничного слоя), определяющее границу устойчивости пограничного слоя, растет с увеличением скоростного времени релаксации твердых частиц $\tau_\upsilon = m / 6\pi r\mu$, где *m* — масса частицы, а *r* — ее радиус. Примесь асимметричных частиц приводит к меньшему повышению устойчивости, чем примесь сферических частиц той же массы [5; 6].

Библиографический список

1. Singleton, R. E. J. Appl. Math. Phys. (ZAMP). 1965. Vol. 16. P. 421–443.
2. Stukel, J. J., Soo, S. L. Power Technology. 1969. Vol. 2. P. 278.
3. Schlichting, H. // Handbook of Fluid Mechanics ; V. L. Streeter, ed. N. Y. : McCraw-Hill, 1961. P. 91.
4. Chamre, P. L., Jaung, J. B. Physsics of Fluids. 1968. Vol. 1. P. 48–52.
5. Жултухин, И. Д. Устойчивость ламинарного пограничного слоя в несжимаемом газе, несущем твердую примесь / И. Д. Жултухин // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1971. № 2. С. 11–18.
6. Бетчов, Р. Вопросы гидродинамической устойчивости / Р. Бетчов, В. Криминале. М., 1971. 351 с.

Сведения об авторе

Дементьев Олег Николаевич — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой вычислительной механики и информационных технологий Челябинского государственного университета. dement@csu.ru

---

O. N. Dementev

BOUNDARY LAYER IN THE DUSTY MEDIUM

Results of the decision of a problem about influence of solid particles of an impurity on formation of a boundary layer of gas about a horizontal plate are resulted. Development of a boundary layer is braked by heavy particles which lag behind changes of speed of the carrying environment about a wall.

ББК В174
УДК 519.17

Т. А. Макаровских

ТЕХНИКА ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ АОЕ-ЦЕПИ В ПЛОСКОМ 4-РЕГУЛЯРНОМ ГРАФЕ

Рассматривается алгоритм построения АОЕ-цепи в плоском 4-регулярном графе и функция на языке С++, отвечающая за построение данной цепи в графе. Приводится пример, иллюстрирующий работу функции.

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 $\mathrm{Int}(H)$ подмножество S, являющееся объединением всех связных компонент множества S/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.

Определение 1. *Будем говорить, что цикл $C = v_1e_1v_2e_2 \ldots v_k$ в эйлеровом графе G имеет упорядоченное охватывание (является ОЕ-цепью), если для любой его начальной части $C = v_1e_1v_2e_2 \ldots e_i$, $l \le |E(G)|$ выполнено условие $Int(C_i) \cap E(G) = \varnothing$* [1].

Рассмотрим эйлерову цепь $T = v_0, k_1, v_1, \ldots, k_n, v_n, v_n = v_0$ в графе $G = (V, E)$. Предположим, что в каждой вершине $v \in V$ задан циклический порядок $O^{\pm}(v)$, определяющий систему переходов $A_G(v) \subset O^{\pm}(v)$ в этой вершине.

Определение 2. *В случае, когда $\forall v \in V(G)$ $A_G(v) = O^{\pm}(v)$, систему переходов $A_G(v)$ будем называть полной системой переходов.*

Определение 3. *Будем называть T A-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 $O^{\pm}(v)$.

Определение 4. *Будем говорить, что цепь является АОЕ-цепью, если она одновременно является ОЕ-цепью и A-цепью.*

В монографии Г. Фляйшнера [2] определены некоторые классы графов, для которых распознавание наличия A-цепи требует полиномиального времени. В работах этого автора приводятся также полиномиальный алгоритм для внешнеплоских графов [3] и для 4-регулярных графов [2] (т. е. графов, степень каждой вершины которых равна 4). В [2, следствие VI.6] приводится доказательство существования A-цепи для любого связного 4-регулярного графа на любой поверхности. Для доказательства данного факта автор использует лемму о расщеплении [2, лемма III.26]. Также доказано существование полиномиального алгоритма для распознавания A-цепи в 4-регулярном графе.

Заметим, что наличие в графе A-цепи вовсе не означает выполнение для нее условия упорядоченного охватывания. Тем не менее справедлива следующая теорема [4].

Теорема 1. *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 ОЕ-цепью.*

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

Следствие 1. *В плоском 4-регулярном графе существует АОЕ-цепь.*

Рассмотрим алгоритм, позволяющий построить *АОЕ*-цепь в плоском 4-регулярном графе. Данный алгоритм использует следующий термин.

Определение 5 [1]. *Рангом ребра e графа $G(V, E)$ назовем значение рекурсивной функции.*

1. Все ребра, ограничивающие внешнюю грань f_0 графа $G(V, E)$, образуют множество ребер

$$E_1 = \{e \in E : e \subset f_0\}$$

с рангом

$$(\forall e \in E_1)(\mathrm{rank}\,(e) = 1).$$

Ребра ранга 1 *графа*

$$G_k\left(V, E \setminus \left(\bigcup_{l=1}^{k-1} E_l\right)\right)$$

формируют множество ребер E_k, имеющих ранг k для исходного графа G, т. е. $(\forall e \in E_k)(\mathrm{rank}\,(e) = k)$.

Алгоритм АОЕ-ЦЕПЬ

Входные данные: граф $G(V, E)$, представленный шестью функциями для каждого ребра (рис. 1):

$v_1(e)$, $v_2(e)$ — 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 $v_k(e)$

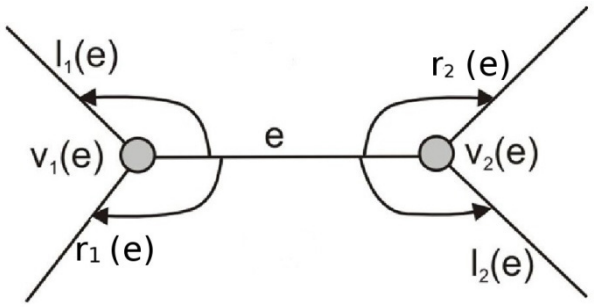


Рис. 1. Представление ребер графа

и получающиеся при вращении ребра e по часовой стрелке.

Выходные данные: AOE-цепь C.

Шаг 1. Положить $k = 1$ и $\tilde{G} = G(V, E)$.

Шаг 2. Определить цикл C_k из ребер, смежных внешней грани графа $\tilde{G}$. Всем ребрам этого цикла присвоить пометку k (таким образом, $\forall e \in C_k$ (rank (e) = k). Положить $k = k + 1$.

Шаг 3. Положить $\tilde{G} = \tilde{G} \setminus C_k$. Если в $\tilde{G}$ остались еще не помеченные ребра, перейти на шаг 2. В противном случае перейти на шаг 4.

Шаг 4. Начать построение цикла из вершины $v_0 \in f_0$. Выбрать первое ребро e_1, инцидентное v_0 и имеющее ранг 2. Положим, что $v_0 = v_1$ (e_1), в противном случае необходимо поменять индексы кодирующих функций данного ребра местами. Пусть $e = e_1$ — текущее ребро, помещаемое в цепь: $C = \{e_1\}$.

Шаг 5. Пусть движение по ребру e осуществляется из вершины $v_1(e)$ в вершину $v_2(e)$. В противном случае необходимо изменить направление прохода по ребру заменой индексов задающих его функций на противоположные, т. е. k заменить на $(3 - k)$, где $k = 1, 2$. Пусть $C = C \cup \{e\}$. Пометить e как пройденное. Если $|C| = |E|$, завершить выполнение алгоритма: *AOE*-цепь найдена, в противном случае перейти на шаг 6.

Шаг 6. Чтобы не нарушить свойство *A*-цепи, выбрать одно из соседних для e ребер, имеющее максимально возможный ранг и не пройденное ранее (не включенное в цепь C). 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, по возможности не повышая связности непройденного подграфа.

Перейти на шаг 5.

Конец алгоритма.

Рассмотрим вопрос сложности представленного алгоритма. Задание входных данных не составляет проблем. Фактически они определяются и используются еще на этапе проектирования графа G. Пространственная сложность такого представления не будет превосходить $O(|E| \cdot \log_2|V|)$. Выполнение шагов 2 и 3 можно организовать за время $O(|E|)$, а шаги 4–6, отвечающие за непосредственное построение цепи, имеют сложность $O(|V| \cdot |E|)$. Таким образом, алгоритм выполняется за полиномиальное время.

Обобщим сказанное выше в следующей теореме.

Теорема 2. *Вычислительная сложность алгоритма AOE-ЦЕПЬ является линейной величиной* $O(|V| \cdot |E|)$.

Рассмотрим разработанную программу [5], которая обеспечивает поиск *AOE*-цепи в плоском 4-регулярном графе. Программа является реализацией представленного алгоритма и может быть использована для демонстрации разработанных алгоритмов поиска решения указанной задачи. Каждое ребро графа представляется списком инцидентных ему вершин и левых и правых соседних ребер, инцидентных каждой из вершин и значением ранга каждого ребра (рис. 1).

Для представления графа в памяти компьютера используются следующие классы (листинги 1 и 2) [6].

Структура `GraphEdge` представляет отдельно взятое ребро графа, представленное функциями, проиллюстрированными на рис. 1. Кроме приведенных на рисунке функций, элемент структуры хранит информацию о ранге текущего ребра и имеет метод `REPLACE`, предназначенный для перестановки индексов заданных функций.

Класс `Graph` представляет собой объект, в котором хранится ссылка на массив структур, определяющих ребра графа.

Листинг 1

Структура, используемая для представления задающих граф функций

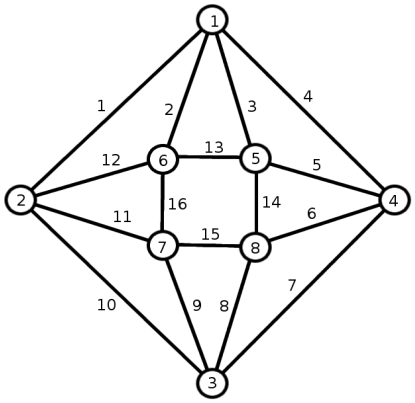
```
struct GraphEdge{
int v1,v2; //Инцидентные вершины
int l1,l2; //Соседние ребра при //вра-
щении против час. стрелки
int r1,r2; //Соседние ребра при //вра-
щении по часовой стрелке
bool f0; //Флаг смежности ребра //
внешней грани
int rank; //ранг ребра
void REPLACE(); //Перестановка
//индексов ребра
 //Конструктор по умолчанию
  GraphEdge(){};};
```

Листинг 2

Класс, используемый для представления информации о графе в памяти компьютера

```
class Graph{
public:
GraphEdge *E; //Набор ребер графа
int EdgeNum; //Число ребер графа
//Конструктор графа из N ребер
Graph(int N){
      EdgeNum=N+1;
      E=new GraphEdge[N+1];
   };
//Конструктор по умолчанию
Graph(){};
//Запись ответа
void WriteData(int *ATrail);
//Поиск A-цепи
int *FindATrail(int v0);
//Определение степени вершины
int Deg(int vertex);
};
```

В качестве методов класса `Graph` представлены только конструктор (и конструктор по умолчанию), метод для поиска *AOE*-цепи, служебный метод для определения степени вершины и метод для сохранения и вывода на экран консоли найденного решения (если оно существует). На рис. 2 приведен пример 4-регулярного графа и представление данных о нем.




```
16
1 2 4 12 2 10 1 1
1 6 1 13 3 12 0 2
1 5 2 5 4 13 0 2
1 4 3 7 1 5 1 1
4 5 4 14 6 3 0 2
4 8 5 8 7 14 0 2
4 3 6 10 4 8 1 1
3 8 7 15 9 6 0 2
3 7 8 11 10 15 0 2
3 2 9 1 7 11 1 1
2 7 10 16 12 9 0 2
2 6 11 2 1 16 0 3
6 5 16 3 2 14 0 3
5 8 13 6 5 15 0 3
8 7 14 9 8 16 0 3
7 6 15 12 11 13 0 3
```

Рис. 2. Пример 4-регулярного графа с помеченными вершинами и ребрами

Наибольший теоретический и практический интерес представляет метод `FindATrail`, который реализует поиск *AOE*-цепи (этап «Построение» алгоритма *AOE*-цепь) согласно заданным данным. Текст данного метода приведен на листинге 3:

Листинг 3
Реализация метода для построения *AOE*-цепи

```
  int *Graph::FindATrail(int v0){
  //NextEdge - текущее ребро,
//curV - ее конец
  //Массив номеров ребер
//результирующей цепи
  int *ATrail=new int [EdgeNum];
  for (int i=1;i<=EdgeNum;i++)
     ATrail[i]=INT_MAX;
  int m=0;
  //В качестве текущей выбрать //пер-
вую
  int curV=v0;
  //Следующее ребро не определено
  int NextEdge=INT_MAX;
  //k -- счетчик ребер в А-цепи
  int k=1;
  //Найти первое ребро и вершину, //в
которую оно приводит.
  //В силу 4-регулярности графа, //это
ребро будет иметь ранг 2
  //либо 1 (если начальной выбрана //
вершина степени 2)
  for (int i=1;i<=EdgeNum;i++){
    if ((E[i].v1==curV||
         E[i].v2==curV)&&
        (E[i].rank==2||
         Deg(curV)==2)){
           NextEdge=i;
           ATrail[k]=NextEdge;
  //В качестве текущей должна быть //
задана v1 ребра.
  //Иначе поменять индексы местами
           if (E[i].v1!=curV)
                E[i].REPLACE();
           curV=E[i].v2;
           break;
  }
  }//for
  //Цикл для построения А-цепи
  do{k++;
  //Если ребро задано наоборот,
  //поменять индексы местами
    if (E[NextEdge].v1!=curV)
       E[NextEdge].REPLACE();
  //Найти самое вложенное //непройден-
ное ребро, сделать //его текущим, и
определить его
  //концевую вершину
  //с учетом возможности задания
  //ребра наоборот
  //Попав в тупик, вывести
  //сообщение об отсутствии
  //решения
  if (E[E[NextEdge].l1].rank >
        E[E[NextEdge].r1].rank){
     if (!Included(ATrail,
        EdgeNum,E[NextEdge].l1)){
        NextEdge=E[NextEdge].l1;
        if (curV==E[NextEdge].v2)
           curV=E[NextEdge].v1;
        else curV=E[NextEdge].v2;
     }else{
        if (!Included(ATrail,
        EdgeNum,E[NextEdge].r1)){
        NextEdge=E[NextEdge].r1;
        if (curV==E[NextEdge].v1)
           curV=E[NextEdge].v2;
```

```
        else curV=E[NextEdge].v1;
        }else{
          cout<<"No AOE-trail!";
          break;
         }
     }
    }else{
     if (!Included(ATrail,
       EdgeNum,E[NextEdge].r1)) {
       NextEdge=E[NextEdge].r1;
       if (curV==E[NextEdge].v2)
    curV=E[NextEdge].v1;
  else curV=E[NextEdge].v2;
  }else{
    if (!Included(ATrail,EdgeNum,
        E[NextEdge].l1)){
        NextEdge=E[NextEdge].l1;
        if (curV==E[NextEdge].v1)
           curV=E[NextEdge].v2;
        else curV=E[NextEdge].v1;
     }else{
        cout<<"No AOE-trail! ";
        break;
     }
   }
  }
  //Занести      найденное      ребро
//в результирующий массив
  ATrail[k]=NextEdge;
  }while (k!=EdgeNum-1);
  //Продолжить выполнение цикла,
  //пока не просмотрены все ребра
  return ATrail;
  }
```

Листинг 4

Реализация функции проверки, включено ли рассматриваемое ребро в результирующую цепь

```
  bool Included (int *ATrail, int N,
int K){
  for (int i=1;i<=N;i++)
     if (ATrail[i]==K)
        return true;
     return false;
  }
```

В тексте приведенного метода используется функция `Included` (листинг 4), определяющая, было ли пройдено рассматриваемое ребро ранее. Разработанная программа в зависимости от номера начальной вершины определяет *AOE*-цепь в графе либо выводит сообщение, что задача не имеет решения.

Для рассмотренного примера при указании вершины с номером 1 в качестве начальной программа находит цепь: 2-13-14-15-16-12-11-9-87-6-5-3-4-7-20-1.

Разработанные методы можно подключить к графической оболочке, позволяющей демонстрировать полученные результаты в динамике.

Библиографический список

1. Панюкова, Т. А. Оптимальные эйлеровы покрытия для плоских графов / Т. А. Панюкова // Дискрет. анализ и исслед. операций. 2011. Т. 18, № 2. С. 64–74.
2. Фляйшнер, Г. Эйлеровы графы и смежные вопросы / Г. Фляйшнер. М. : Мир, 2002. 335 с.
3. 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. № 85. P. 99–112.
4. 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. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 41–42.
5. Макаровских, Т. А. Программа построения А-цепи с упорядоченным охватыванием в плоском 4-регулярном в графе / Т. А. Макаровских // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем : офиц. бюл. Рос. агентства по патентам и товарным знакам. 2015 г. М. : ФИПС, 2015. Рег. № 2014663188.
6. Макаровских, Т. А. Построение АОЕ-цепи в плоском графе / Т. А. Макаровских, Е. А. Савицкий // Дискретная математика, алгебра и их приложения : тез. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 14–18 сент. 2015 г. Минск : Ин-т математики НАН Беларуси, 2015. С. 114–115.

Сведения об авторе

Макаровских Татьяна Анатольевна — кандидат физико-математических наук, доцент Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета). Челябинск. kwark@mail.ru

---

T. A. Makarovskih

THE TECHNICS OF SOFTWARE REALIZATION FOR A PROBLEM OF AOE-TRAIL CONSTRUCTING FOR A PLANE 4-REGULAR GRAPH

The algorithm of AOE-trail constructing for a plane 4-regular graph and C++-function for this problem solution are discussed in this paper. The example illustrating this function execution is considered.

ББК В183.4
ББК 519.85

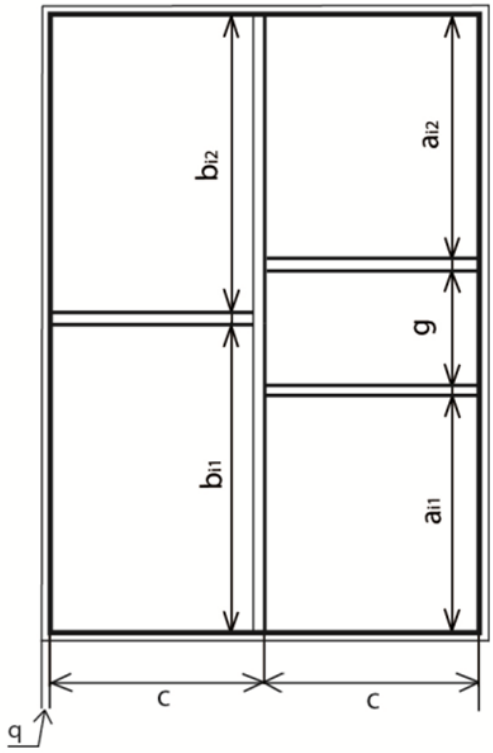
А. А. Марченко, А. Н. Сесекин

ОБ ОДНОЙ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНТЕЙНЕРНОЙ УПАКОВКЕ

Рассматривается задача оптимального раскроя ленты контейнерного типа. Предложен эвристический алгоритм для решения задачи. Рассмотренные примеры демонстрируют эффективность данного алгоритма.

Рассматривается задача оптимального раскроя ленты постоянной ширины с ограничениями. В нашей постановке задачи прямоугольные объекты располагаются на ленте в блоке по четыре. Сначала лента разрезается гильотиной на прямоугольные блоки, а затем идет вырезание деталей из вырезанных ранее прямоугольных блоков. Все детали имеют одинаковую ширину, но различны по длине. Одна группа деталей вырезается из левой части ленты, а вторая вырезается из правой части ленты. Кроме того, в каждом контейнере справа, помимо вкладываемых двух прямоугольников, имеется одинаковый для каждого контейнера прямоугольник. Требуется так расположить детали на ленте, чтобы суммарная длина контейнеров оказалась минимальной. Аналогичные по постановке задачи возникают при проектировании планировки в строительстве, при планировании загрузки транспортных средств и др.

Постановка задачи. Имеется n контейнеров фиксированный ширины $2c$ и переменной длины l_i, $i \in \overline{1,n}$. Для составления n контейнеров требуется $4n$ прямоугольников шириной c, которые следует распределить по четыре в каждый контейнер (рисунок). Два прямоугольника мы должны положить в левую часть контейнера и два в правую часть. Кроме того, в каждом контейнере, в правой части, еще содержится один прямоугольник постоянного размера $c \times g$.



В задаче также есть дополнительные ограничения: разность длин соответствующих прямоугольников в контейнерах не должна превышать значения d. Пусть длины прямоугольников, расположенных слева в контейнере, обозначаются через $b_{i,1}$, $b_{i,2}$, длины прямоугольников, которые расположены в правой части контейнера, обозначаются через $a_{i,1}$, $a_{i,2}$, толщина стенки между прямоугольниками через q.

Мы предполагаем, что должны выполняться условия

$$\begin{cases} a_{i,1} + a_{i,2} + g \le l_i; \\ b_{i,1} + b_{i,2} \le l_i\ ; \\ b_{i,1} - a_{i,1} \ge d; \\ b_{i,2} - a_{i,2} \ge d \\ \quad i \in \overline{1,n}. \end{cases} \tag{1}$$

Первые два условия можно записать иначе, потому что мы будем минимизировать суммарную длину всех контейнеров:

$$l_i = \max\left\{a_{i,1} + a_{i,2} + g + 3q; b_{i,1} + b_{i,2} + 2q\right\}.$$

Требуется найти такую комбинацию из $4n$ прямоугольников, формирующих контейнеры, чтобы суммарная длина контейнеров

$$L = \sum_{i=1}^{n} l_i \tag{2}$$

была минимальной.

Заметим, что задача минимизации функционала (2) эквивалентна задаче минимизации функционала

$$F = \sum_{i=1}^{n} \left| \left(a_{i,1} + a_{i,2} + g + 3q\right) - \left(b_{i,1} + b_{i,2} + 2q\right) \right| \tag{3}$$

с дополнительными ограничениями

$$\begin{cases} b_{i,1} - a_{i,1} \ge d; \\ b_{i,2} - a_{i,2} \ge d; \\ \quad i \in \overline{1,n}. \end{cases}$$

Эвристический алгоритм. Вычислительные алгоритмы, основанные на полном переборе*, для данной задачи оказываются эффективными, если

* Cormen, T. C. Introduction to Algorithms / T. C. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, C. Stern. 3 ed. Boston : MIT Press, 2009. 1312 p.

число контейнеров не превосходит пяти. Для большего числа контейнеров целесообразно использовать квазиоптимальные алгоритмы. В настоящей работе предлагается некоторый эвристический алгоритм, основанный на достижении локальных оптимумов. Первоначально задаем количество итераций расчета задачи по нашему алгоритму.

Шаг 1. Введем дополнительные обозначения: количество прямоугольников, которые есть в наличии, для правой части k; количество прямоугольников, которые есть в наличии, для левой части z; прямоугольник из правой части обозначим за a_i, $i \in \overline{1,k}$; прямоугольник из левой части обозначим за b_i, $i \in \overline{1,z}$. Если $z = k$ и z — четное число, то в результате нашего вычисления получится оптимальный вариант упаковки $z/2$ контейнеров. Если $z = k$ и z — нечетное число, то в результате нашего вычисления получится оптимальный вариант упаковки $(z - 1)/2$ контейнеров. Если z не равно k, то в результате нашего вычисления получится оптимальный вариант упаковки $\left[\min\left(\frac{z}{2},\frac{k}{2}\right)\right]$ контейнеров, где через $[a]$ обозначена целая часть числа a. Так как при делении нацело у нечетного значения отбрасывается остаток.

Из всех прямоугольников, загружаемых в правую часть контейнера, выберем тот, который имеет среднюю длину. Такой выбор оправдан в случае, когда в нашем распоряжении есть лишние варианты прямоугольников a_i, так как прямоугольники a_i преимущественно меньше прямоугольников b_i из-за наличия постоянного третьего прямоугольника в левой части контейнера. Поэтому такой выбор исключает выбор наименьшего прямоугольника a_i. В случае когда лишних прямоугольников a_i нет, все равно как составлять контейнеры, так как использоваться будут все. Это и будет $a_{1,1}$. Оставшиеся три прямоугольника ищем из условия $l_i \to \lim$ и учитывая дополнительные ограничения. В результате первый контейнер будет сформирован.

Шаг 2. Среди оставшихся прямоугольников, которые предназначены для расположения в правой части контейнера, выбираем прямоугольник со средней длиной. Затем этот контейнер заполняем также, как и предыдущий.

Шаг 3. В результате такой итерационной процедуры мы заполним все контейнеры. Запоминаем полученный результат. При следующей итерации будем сравнивать текущий результат с запомненным, выбирать из них лучший и запоминать его.

Шаг 4. После этого находим в сумме (3) наибольшее слагаемое. В соответствующем контейнере выберем тот прямоугольник, благодаря которому это слагаемое оказалось наибольшим. Далее возвращаемся к первому шагу, но первым загружаем выделенный нами прямоугольник.

Вычислительная процедура заканчивается после выполнения заданного количества итераций.

Вычислительный эксперимент. В ходе вычислительного эксперимента были произведены расчеты для пяти примеров.

Пример 1. Требуется заполнить 5 контейнеров двадцатью прямоугольниками с минимальным штрафом. Числовые данные: прямоугольники a_i: 6,6; 6,6; 7,2; 3,3; 4,8; 3,9; 7,2; 6,6; 6,6; 6,6; прямоугольники b_i: 7,8; 7,2; 7,5; 8,1; 7,5; 7,5; 7,5; 7,5; 8,1; 7,8.

Оптимальное значение функционала (3), полученное простым перебором в этой задаче для пяти контейнеров, равно 9,3.

Оптимальная упаковка контейнеров имеет вид (i) a_{i1}; a_{i2}; b_{i1}; b_{i2}:

1) 6,6; 6,6; 8,1; 8,1;
2) 7,2; 3,3; 8,7; 7,2;
3) 4,8; 3,9; 7,5; 7,5;
4) 7,2; 6,6; 8,7; 8,1;
5) 6,6; 6,6; 8,1; 8,1.

Время, потраченное на отыскание оптимального результата,— 108,2 с.

Время счета эвристическим методом — 0,027 с. Значение функционала, полученное после первой итерации, совпадает с оптимальным результатом, полученным полным перебором.

Пример 2. Требуется заполнить 4 контейнера восемнадцатью прямоугольниками с минимальным штрафом. В этом примере в нашем распоряжении есть по одному лишнему прямоугольнику для обеих частей контейнера. Числовые данные: прямоугольники a_i: 4,8; 4,8; 5,4; 5,1; 4,8; 4,5; 4,5; 5,4; 5,4; прямоугольники b_i: 7,8; 7,2; 7,5; 8,1; 7,5; 7,8; 7,5; 7,5; 8,1. Оптимальное значение функционала (3), полученное простым перебором, в этой задаче для восьми контейнеров равно 8,7.

Оптимальная упаковка контейнеров имеет вид (i) a_{i1}; a_{i2}; b_{i1}; b_{i2}:

1) 4,8; 4,8; 7,8; 7,2;
2) 5,4; 5,1; 7,5; 8,1;
3) 4,8; 5,4; 7,5; 7,8;
4) 4,5; 5,4; 7,5; 7,5.

Прямоугольник a_i, не попавший в оптимальную расстановку, — 4,5; прямоугольник b_i, не попавший в оптимальную расстановку, — 8,1. Время, потраченное на отыскание оптимального результата, — 9,7 с.

Время счета методом, основанным на эвристическом алгоритме, — 0,015 с. Значение функционала, полученное после первой итерации жадного алгоритма, совпадает с оптимальным результатом, полученным полным перебором.

Пример 5. Требуется заполнить 10 контейнеров с минимальным штрафом. Метод перебора здесь невозможен по причине того, что даже в задаче с 6 контейнерами время счета вышло за рамки 6 ч. Числовые данные: прямоугольники a_i: 4,8; 4,8; 5,4; 5,1; 4,8; 4,5; 5; 5,4; 5,7; 4,8; 4,8; 4,8; 5,4; 5,4; 5,4; 5,1; 5,7; 6; 5,4; прямоугольники b_i : 7,8; 7,2; 7,5; 8,1; 5,7; 7,5; 7,5; 7,5; 6,3; 6; 7,5; 8,1; 7,5; 7,2; 7,5; 8,7; 6,9; 8,7; 6,6; 6,9.

Время счета предложенным эвристическим алгоритмом составило 0,052 с. Значение функционала (3) после первой итерации 15,6. Следующая итерация дала другое значение функционала, равное 13,8.

Третья итерация дала такое же значение, что и предыдущая итерация.

Пример 3. В этом примере также требуется заполнить 10 контейнеров с минимальным штрафом. Но в этом случае значения прямоугольников не упорядочены и имеют большой разброс.

Прямоугольники a_i: 3,3; 3,0; 3,6; 5,1; 4,8; 3,9; 7,2; 6,6; 3,0; 4,8; 2,1; 5,4; 5,4; 5,4; 5,1; 6,6; 6,6; 5,7; 5,4; 5,7.

Прямоугольники b_i: 11,4; 7,2; 11,1; 8,1; 5,7; 7,5; 7,5; 7,5; 9,9; 9,6; 7,5; 8,1; 9,3; 7,2; 7,5; 8,7; 6,9; 8,7; 6,6; 5,1.

Время счета предложенным алгоритмом составило 0,046 с. Значение функционала (3) после первой итерации 36,6. Результат счета второй и трех следующих итераций 34,2.

Пример 4. Также был рассмотрен пример с 30 контейнерами и 120 прямоугольниками. Время работы составило 1,32 с. Результат счета первой итерации 223,8; второй — 219,6; третьей — 223,8; четвертой — 219,6.

Характеристики ЭВМ: процессор Intel(R) Core(TM) i7-4771 CPU @3.50 GHz ОЗУ: 32,0 ГБ.

Сведения об авторах

Марченко Андрей Александрович — аспирант кафедры прикладной математики Уральского энергетического института Уральского федерального университета, Екатеринбург. marchenko.a@skbkontur.ru

Сесекин Александр Николаевич — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики Уральского энергетического института Уральского федерального университета, Екатеринбург. sesekin@list.ru

---

A. A. Marchenko, A. N. Sesekin

ON ONE OF THE OPTIMAL CONTAINER PACKAGING

The problem of optimal cutting of the ribbon container type considered in this article. The heuristic algorithm is proposed to solve the problem. The examples demonstrate the effectiveness of the algorithm.

ББК В25
УДК 519.7

А. В. Панюков, В. А. Голодов

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕДАХ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

Технологии параллельной обработки данных увеличивают производительность вычислений, позволяя решать многие задачи с применением абсолютно точных дробно-рациональных вычислений или вычислений с заданной погрешностью. В работе анонсируются библиотека Exact Computation 2.0, импортирующая средства и методы точной дробно-рациональной арифметики для гетерогенных вычислительных систем, и программное обеспечение нахождения абсолютно точного решения и/или псевдорешения системы линейных алгебраических уравнений и задачи линейного программирования. Данные программные средства позволили предложить и реализовать для регуляризации задач, чувствительных к погрешностям исходных данных, метод интервального погружения. Рассмотрено импортирование точных вычислений в криптографические и промышленные системы.

1. Введение

Облачные технологии на сегодняшний день не обходятся без применения всего арсенала существующих вычислительных архитектур, например, облачные GPU-технологии от NVIDIA. Основанные на архитектурах графических процессоров семейства Kepler и новее, они созданы для использования в крупных центрах обработки данных, благодаря своим возможностям по созданию виртуальной среды доступ к GPU одновременно получают множество пользователей. Возможность ультрабыстрого потокового отображения данных сводит задержки к минимуму, создавая ощущение, что центр обработки данных находится прямо за дверью, а исключительная энергоэффективность и плотность обработки данных снижают затраты на инфраструктуру. Технологии параллельной обработки данных позволяют значительно увеличить производительность вычислений.

Впечатляют возможности кластеров с использованием сопроцессоров серии Intel Xeon Phi, мультипроцессор на основе архитектуры x86_64 позволяет портировать программу на мультипроцессор без каких-либо изменений в коде.

Серверное оборудование с узлами различной архитектуры выпускают все ведущие, а также малоизвестные разработчики высокопроизводительных решений. Одновременно с развитием аппаратной части программные интерфейсы виртуализации сделали облачные вычисления из абстрактной модели повседневной реальностью.

Вычисления повышенной точности, а также безошибочные рациональные вычисления являются необходимым и достаточным средством алгоритмического анализа крупномасштабных и/или неустойчивых задач, решение которых возлагается на вычислительные центры. Например, решение задач дискретной оптимизации методом эллипсоидов требует, чтобы число бит в представлении операндов в пять раз превосходило количество итераций.

В настоящее время такие возможности представляет известная библиотека GMP (The GNU Multiple Precision Arithmetic Library) [1]. Библиотека распространяется под лицензией GNU LGPL, актуальная версия библиотеки GMP 6.0.0 доступна для загрузки с официального сайта проекта. Библиотека использует возможности центральных процессоров, в том числе процессоров архитектуры ARM. Программный код оптимизирован с помощью ассемблерных вставок, соответствующих поддерживаемым библиотекой процессорным семействам, но она не предоставляет своим объектам возможность их использования в распределенных вычислениях.

2. Программное обеспечение для точных вычислений в гетерогенных средах

Поскольку потенциал современных мультипроцессорных архитектур, таких как Fermi, Kepler, Maxwell (Nvidia), Graphics Core Next (AMD), Intel Xeon Phi и т. д., позволяют не только разгрузить центральный процессор, но полностью отправить вычислительную задачу на сопроцессор, оставив центральному процессору управляющие функции, то встает вопрос о поддержке вычислений повышенной точности и безошибочных рациональных вычислений в данных вычислительных устройствах.

В рамках современных десктопных ЭВМ и небольших вычислительных станций может объединяться до 10 сопроцессоров в относительно небольшом корпусе, который не требует специальной инфраструктуры и может охлаждаться штатным набором вентиляторов компонентов. Это выводит на первый план вопросы координации, интеграции сопроцессоров, обмена данных между устройствами. Производители вычислительных элементов и программного обеспечения уделяют данным вопросам повышенное внимание. Для центров обработки данных (ЦОДов) производители оборудования изготовляют производительные универсальные решения, способные реализовывать широкий спектр задач различной направ-

ленности, то есть оборудование ЦОД представляет собой гетерогенные решения.

2.1. Особенности современных гетерогенных вычислительных систем на примере комплексов с GPU

Самые мощные гетерогенные системы для научных вычислений строятся на базе двух специализированных ускорителей: семействе продукции Intel Xeon Phi [2] и графических ускорителях nVidia [3]. Xeon Phi является высокоинтегрированным кластером, состоящим из процессоров архитектуры x86. Устройства архитектуры CUDA от Nvidia отличаются массовым параллелизмом и большим количеством легковесных ядер, объединенных в блоки.

Структура GPU обладает рядом преимуществ для решения вычислительных задач, однако требует дополнительных усилий при программировании. Программная модель CUDA (Compute Unified Device Architecture) [4–6] включает описание вычислительного параллелизма и иерархической структуры памяти непосредственно в язык программирования. В аспекте программного обеспечения реализация CUDA представляет собой кроссплатформенную систему компиляции и исполнения программ, части которых одновременно работают на CPU и GPU. Платформа CUDA предназначена для разработки GPGPU-приложений без привязки к графическим API и поддерживается всеми GPU nVidia, начиная с серии GeForce 8.

GPGPU — general-purpose graphics processing units, техника использования графического процессора видеокарты в приложениях для общих вычислений. Концепция CUDA отводит GPU роль массивно-параллельного сопроцессора. В литературе о CUDA основная система, к которой подключен GPU, называется термином «хост» (host), а GPU — термином «устройство» (device).

CUDA-программа задействует как CPU, так и GPU: на CPU выполняется последовательная часть кода и подготовительные стадии для GPU-вычислений. Параллельные участки кода выполняются на GPU одновременно большим множеством нитей (threads).

Важно отметить ряд принципиальных отличий нитей на GPU от обычных потоков на CPU:

– нить на GPU чрезвычайно легковесна, ее контекст минимален, регистры и разделяемая память распределены заранее;

– для эффективного использования ресурсов GPU программе необходимо задействовать тысячи отдельных нитей, в то время как на многоядерном CPU максимальная эффективность обычно достигается при числе потоков, равном или в несколько раз превышающем количество ядер.

В целом работа нитей на GPU соответствует принципу SIMD, однако есть существенное различие. Только нити в пределах одной группы (для GPU архитектуры Fermi/Kepler и старше — 32 нити), называемой варпом (warp), выполняются физически одновременно. Нити различных варпов могут находиться на разных стадиях выполнения программы. Такой метод обработки данных получил название SIMT (Single Instruction — Multiple Threads). Управление работой варпов производится на аппаратном уровне.

Новые возможности современных версий платформы CUDA демонстрируют тенденцию к постепенному превращению GPU в самодостаточное устройство, полностью замещающее обычный CPU за счет реализации некоторых системных вызовов (в терминологии GPU системными вызовами являются, например, malloc и free, реализованные в CUDA 3.2) и добавления облегченного энергоэффективного CPU-ядра в сам GPU (архитектура Maxwell).

Важным преимуществом платформы CUDA является использование для программирования GPU языков высокого уровня. В настоящее время существуют компиляторы языков C/C++ и Fortran. Эти языки расширяются небольшим множеством новых конструкций: атрибуты функций и переменных, встроенные переменные и типы данных, оператор запуска ядра.

Ключевым приемом программирования для CUDA устройств является группировка множества нитей в блоки. На это есть две причины. Во-первых, очень мало параллельных алгоритмов имеют эффективную реализацию с помощью набора полностью независимых нитей: результат одной нити может зависеть от результата некоторых других, исходные данные нити могут частично совпадать с данными соседних. Во-вторых, размер одной выборки данных из глобальной памяти намного больше размера вещественного или целочисленного типа, т. е. одна выборка может покрыть запросы группы из нескольких нитей, работающих с подряд идущими в памяти элементами. В результате группировки нитей исходная задача распадается на независимые друг от друга подзадачи (блоки нитей). Нити в рамках одного блока могут взаимодействовать, а запросы в память объединяются в рамках варпов. Разбиение нитей на варпы происходит независимо для каждого блока. Объединение в блоки является удачным компромиссом между необходимостью обеспечить взаимодействие нитей между собой и возможностью сделать соответствующую аппаратную логику эффективной и дешевой.

На время выполнения ядра каждый блок получает в распоряжение часть быстрой разделяемой памяти, которую могут совместно использовать все нити блока. Поскольку нити блока выполняются физически неодновременно, то необходим механизм синхронизации. Для этой цели в CUDA предусмотрен вызов — syncthreads(), который блокирует дальнейшее исполнение ядра до тех пор, пока все нити блока не войдут в эту функцию. Помимо организации обмена данных между устройствами важнейшей задачей является обеспечение эффективности их использо-

вания и конкурентоспособности гетерогенных решений по сравнению с традиционными решениями на базе многопроцессорных комплексов.

Задача полноценного использования ресурсов GPU для арифметических операций над длинными числами требует существенно переработать алгоритмы базовых арифметических операций, поскольку традиционные последовательные алгоритмы не могут использовать потенциал массового параллелизма устройств, при этом лишены на сопроцессорах возможности использовать высокие тактовые частоты (с среднем тактовые частоты элементов топовых сопроцессоров в 2–3 раза ниже частот топовых центральных процессоров). Требуется глобальный пересмотр алгоритмов базовых арифметических операций для совместимости с архитектурами современных массивно-параллельных сопроцессоров.

2.2. Библиотека Exact Computation 2.0 для точных вычислений в гетерогенной вычислительной среде

Возможности использования современных гетерогенных вычислительных систем уделено внимание при разработке библиотеки Exact Computation 2.0 [7]. Элементами библиотеки являются классы overlong и rational. Данные классы позволяют производить безошибочные дробно-рациональные вычисления.

При разработке классов overlong и rational упор делался на простоту их использования. Для их применения достаточно подключить к программе заголовочные файлы, после этого можно пользоваться объектами данных классов как стандартными типами данных.

Язык C++, который использовался для создания данных классов, дает возможность перегрузить операторы арифметических операций. Таким образом использование данных типов не отличается от использования стандартных типов данных. Развитие библиотеки Exact Computation 2.0 предполагает распараллеливание операций длинной арифметики с учетом особенностей гетерогенных вычислительных систем [8]. Библиотека поддерживает базовую функциональность библиотеки MPI, то есть пересылки данных между процессами в рамках приложения, запущенного на кластерной системе, при этом дополнительных усилий от пользователя по реализации данной функциональности не требуется, интерфейс для реализации специфических операций пересылки и специальных групповых операций является открытым, что дает возможность гибко настраивать взаимодействия между процессами. Это позволяет использовать типы данных overlong и rational в параллельных приложениях.

3. Решатели на основе библиотеки точных вычислений

Дальнейшее повышение эффективности программного обеспечения, использующего Exact Computation 2.0, возможно за счет применения оптимизации локальных операций длинной арифметики с применением распараллеливания на большое количество потоков.

На основе разработанных типов были созданы различные математические решатели, использующие преимущества вычислений без округления.

3.1. Решение систем линейных уравнений с абсолютной точностью

В работах [9; 10] приведены теоретические и экспериментальные результаты по применению безошибочных вычислений для решения систем линейных алгебраических уравнений. Перенос вычислительно емких задач решения систем линейных уравнений на GPU активно исследуется по сей день [8].

Показано, что вычислительная битовая сложность решения систем линейных алгебраических уравнений с невырожденной матрицей не превышает $O(l^{7/2})$, а вычислительная сложность нахождения нормального псевдорешения системы линейных алгебраических уравнений не превышает $O(1^5\log_2 1)$, где 1 — число бит, требуемых для представления исходных данных.

Для уменьшения времени, необходимого для решения данной задачи, целесообразно использовать параллельные вычисления. Показано, что при этом ускорение пропорционально числу используемых процессоров.

3.2. Решение задачи линейного программирования с абсолютной точностью

Подходы к решению задачи линейного программирования с абсолютной точностью, достигаемой применением дробно-рациональных вычислений без округления в алгоритмах симплекс-метода, рассмотрены в работах [12; 13], программная реализация разработана в [9].

Показано, что меньшую пространственную сложность имеет реализация модифицированного симплекс-метода с использованием обратной матрицы. Объем оперативной памяти, достаточный для решения задачи линейного программирования с использованием дробно-рациональных вычислений без округления, не превосходит величины $4lm^4+O(lm^3)$, где m — минимальная из размерностей задачи, l — число бит, достаточных для представления одного элемента матрицы исходных данных.

Показано, что эффективность распараллеливания (т. е. отношение ускорения к числу процессоров) составляет в асимптотике величину, близкую к 100%. Результаты вычислительного эксперимента практических задач с разреженной матрицей подтверждают высокую эффективность распараллеливания и демонстрируют преимущество параллельного метода обратной матрицы.

Положительный эффект от распараллеливания в случае использования дробно-рациональных вычислений без округления состоит не только в ускорении вычислений, но и в возможности решать задачи боль-

шей размерности, так как достаточно легко достичь границ, когда матрица целиком не будет умещаться в оперативной памяти одного узла. Проведенный вычислительный эксперимент показывает эффективность применения распараллеливания для задач различных размерностей.

Как результат следует отметить более высокую эффективность решения рассмотренных задач методом обратной матрицы. Общее время вычислений может быть улучшено некоторыми оптимизациями реализации алгоритма, учитывающими специфику отдельных задач, что является целью для дальнейшей работы.

3.3. Интервальная регуляризация неточно заданных систем линейных уравнений

В диссертационном исследовании [10] описан подход к решению неточно заданных систем линейных уравнений за счет погружения в интервальную систему и перехода к поиску точки из допускового множества интервальной системы. Предлагается метод поиска точки из допускового множества интервальной СЛАУ как решения задачи линейного программирования [11; 12], тем самым вся технологическая цепочка получения результата не требует специальных пакетов интервальной арифметики и может быть реализован стандартными средствами языка C++. Подобный подход, использующий свойство устойчивости допускового множества к изменению матрицы интервальной системы, назван *интервальной регуляризацией*. Метод поиска точки из допускового множества отличается от имеющихся наработок по применению техники линейного программирования к интервальным системам линейных уравнений тем, что позволяет корректировать правую часть интервальной СЛАУ системы в случае её несовместности. Данный подход позволяет успешно решать теоретические и прикладные вопросы, связанные с решением плохо обусловленных систем линейных уравнений, систем с неточными данными.

На основе предложенной методики были разработаны прикладные решатели для модели межотраслевого баланса с интервальными данными, спектрофотометрического анализа неразделенных смесей методом Фирордта [13] и др. Программная реализация приводится в [14].

4. Дальнейшее развитие программного обеспечения для точных вычислений в гетерогенных средах

В рамках уже разработанных библиотек есть несколько наиболее перспективных направлений развития. Прежде всего это внедрение точных вычислений без округлений на уровне операционной системы. Другим постоянным источником обновлений программного обеспечения точных рациональных вычислений без округления является совершенствование кода библиотеки для использования потенциала оптимизаций, предоставляемых возможностями постоянно развивающейся аппаратной части.

4.1. Низкоуровневое программное обеспечение для нужд задач криптографии и промышленного программного обеспечения

Современные возможности вычислительных систем предъявляют высокие требования к качеству шифрования, например, ключ для AES-шифра должен иметь длину порядка 3 000, чтобы считаться достаточно надежным. Многочисленные опыты, например [15], показали весьма успешное использование графических ускорителей, сопроцессоров общего назначения для нужд криптографии. Разрядность применяемых ключей шифрования позволяет эффективно реализовать возможности массового параллелизма, однако для надежных систем требуется поддержка криптографических операций в режиме приоритетного или монопольного доступа к вычислительным ресурсам, то есть эффективные операции с длинными числами должны поддерживаться на уровне операционной системы.

Еще одно направление развития программного обеспечения для точных рациональных вычислений относится к внедрению в промышленные программные комплексы, однако в основной своей массе они ориентированы на использование проверенного годами кода, написанного на языке C, в том числе с элементами ассемблерного кода, поэтому парадигма ООП и система классов текущей версии библиотеки Exact Computaiotn 2.0 неприменима в данном случае. Для внедрения в существующие промышленные программные продукты с целью повышения точности и устранения проблем арифметики с плавающей точкой стандарта IEEE754-2008 требуется изменить компоновку компонентов библиотеки и создать версию без использования ООП.

4.2. Совершенствование алгоритмов и оптимизация для новейших архитектур процессоров и сопроцессоров

Рост возможностей гетерогенных вычислительных систем начиная с 2004 г. осуществляется преимущественно за счет роста параллелизма в рамках одного вычислительного узла, в частности, вычислительная мощность сопроцессоров только за последние 5 лет возросла более чем в 10 раз [2; 3].

Теоретические алгоритмы стало возможно реализовывать все с меньшими накладными расходами, приближая тем самым реальную производительность к теоретической. Это справедливо для параллельных алгоритмов целочисленной арифметики: появление инструкций продвинутой синхронизации, динамического параллелизма, двунаправленной передачи данных и многих других возможностей на графических ускорителях превратили GPU в мощный вычислительный сопроцессор, не уступающий по мощности современным центральным процессорам, а для многих задач значительно их превосходящий.

Для полноценного использования имеющегося потенциала требуется разрабатывать новые и совершенствовать уже имеющиеся алгоритмы базовых арифметических операций. Многие перспективные алгоритмы уже разработаны и ждут своего часа [16–18].

5. Заключение

Разработанное программное обеспечение точных вычислений — библиотека классов Exact Computation 2.0 позволяет в полной мере использовать ресурсы параллелизма современных гетерогенных систем для решения задач, требующих точных вычислений. Решатели на основе данной библиотеки развивают алгоритмы решения на случай плохо обусловленных задач (решение систем линейных уравнений, решение зада линейного программирования), а также предлагают новые теоретические и практические подходы к решению неустойчивых и плохо обусловленных задач (интервальная регуляризация и ее применение).

Библиографический список

1. The GNU MP Bignum Library. March 24, 2014. URL: http://gmplib.org

2. Семейство продукции Intel® Xeon Phi™. October 20, 2015. URL: http://www.intel.ru/content/www/ru/ru/processors/xeon/xeon-phi-detail.html

3. High Performance Computing (HPC) and Supercomputing | NVIDIA Tesla; October 20, 2015. URL: http://www.nvidia.com/object/tesla-supercomputing-solutions.html

4. Боресков, А. В. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA / А. В. Боресков, А. А. Харламов, Н. Д. Марковский, Д. Н. Микушин, Е. В. Мортиков, А. А. Мыльцев, Н. А. Сахарных, В. А. Фролов. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2012. 336 с.

5. Parallel Programming and Computing Platform | CUDA | NVIDIA. URL: http://www.nvidia.com/object/cuda_home_new.html

6. Линев, А. В. Технологии параллельного программирования для процессоров новых архитектур / А. В. Линев, Д. К. Боголепов, С. И. Бастраков. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2010. 160 с.

7. Голодов, В. А. Библиотека классов «Exact Computation 2.0» : св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ 2013612818 от 14 марта 2013 г. / В. А. Голодов, А. В. Панюков // Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем : офиц. бюл. Рос. агентства по патентам и товар. знакам. М. : ФИПС, 2013. 251 с.

8. Монаков, А. В. Оптимизация метода решения линейных систем уравнений в OpenFOAM для платформы MPI + CUDA / А. В. Монаков, В. А. Платонов. // Тр. Ин-та систем. программирования РАН. 2014. Т. 26, № 3. С. 91–102. doi: 10.15514/ISPRAS-2014-26(3)-4

9. Голодов, В. А. Программа ExactLinPSolutor 1.0 : св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ 2014610445 от 9 января 2014 г. / В. А. Голодов, А. В. Панюков // Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем : офиц. бюл. Рос. агентства по патентам и товар. знакам. М. : ФИПС, 2014.

10. Голодов, В. А. Интервальный подход к регуляризации неточно заданных систем линейных уравнений : дис. ... канд. физ.-мат. наук. М. : ВЦ РАН им. А. А. Дородницына, 2014. 107 с.

11. Panyukov, A. V. Computing Best Possible Pseudo-Solutions to Interval Linear Systems of Equations / A. V. Panyukov, V. A. Golodov // Reliable Computing. 2013. № 19 (2). P. 215–228.

12. Панюков, А. В. Программная реализации алгоритма решения системы линейных алгебраических уравнений с интервальной неопределенностью в исходных данных / А. В. Панюков, В. А. Голодов // Упр. большими системами. М. : ИПУ РАН, 2013. С. 78–94.

13. Golodov, V. A. Interval regularization approach to the Firodt method of the spectroscopic analysis of the non-separated mixtures / V. A. Golodov // 16th GAMM–IMACS International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetic and Verified Numerical Computations (SCAN2014) : book of Abstracts. Department of Computer Science, Uniersity of Wurzburg, Germany, 2014. P. 58–59.

14. Голодов, В. А. Программа ExactISLAYSolutor 1.0 : св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ 2014610333 от 9 января 2014 г. / В. А. Голодов, А. В. Панюков // Программы для ЭВМ, базы данных, топологии интегральных микросхем : офиц. бюл. Рос. агентства по патентам и товар. знакам. М. : ФИПС, 2014.

15. Шифрование ГОСТ 28147-89 на x86- и GPU-процессорах [Электронный ресурс]. 16.04.2014. URL: http://security-corp.org/infosecurity/crypto/26518-shifrovanie-gost-28147-89-na-h86-i-gpu-processorah.html

16. Panyukov, A. V. Scalability of Algorithms for Arithmetic Operations in Radix Notation / A. V. Panyukov // Reliable Computing. 2015. № 19 (4). P. 417–434.

17. Голодов, В. А. Масштабируемые алгоритмы целочисленной арифметики и организация поддержки рациональных вычислений в гетерогенных средах / В. А. Голодов, А. В. Панюков // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. Серия : Вычисл. математика и информатика. 2015. № 4 (2). С. 71–88.

18. Panyukov, A. V. Parallel Algorithms of Integer Arithmetic in Radix Notations for Heterogeneous Computation Systems with Massive Parallelism / A. V. Panyukov, V. A. Golodov // South Ural State University Bulletin. Series Mathematical Modelling, Programming & Computer Software. 2015. № 8 (2). P. 117–126. doi: 10.14529/mmp150210

Сведения об авторах

Панюков Анатолий Васильевич — доктор физико-математических наук, профессор кафедры экономико-математических методов и статистики Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета), Челябинск. paniukovav@susu.ac.ru

Голодов Валентин Александрович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры экономико-математических методов и статистики Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета), Челябинск. golodovva@susu.ac.ru

---

A. V. Panyukov, V. A. Golodov

SOFTWARE FOR EXACT COMPUTATIONS IN HETEROGENEOUS COMPUTING ENVIRONMENT AND ITS APPLICATIONS

The paper introduces usage of exact rational computations in heterogeneous computer environments, cloud computing is considered as one of the area that intensively uses different hardware combined in one claster complex. Rational computations avoid the overflow and rounding mistakes of IEEE754 floating point numbers. Exact rational computations in the heterogeneous environments are provided by library of classes “Exact Computation 2.0”, the library is capable of providing overlong and rational data types on wide amount of modern architectures of central processors and coprocessors. The library provides MPI communications without any extra efforts from the user. Paper contains a couple of examples of software which uses developed library. The “Exact Computation 2.0” library used as basic for implementation of linear equation systems solver with extended accuracy, developed data types and used calculation methods provide effective solver with polynomial complexity according to calculation and space complexity. Another example considered in the paper is linear programming task solver with absolute accuracy, it also has polynomial calculation and space complexity. New approach to linear systems of equation with uncertainty in the coefficients named interval regularization substantially uses exact computation ability. Further research will be concentrated on two areas, first is improving system software by improving parallel algorithms of basic arithmetic operations and second one cooperation and adoption to existing industrial software.

ББК В181
УДК 519.23

С. А. Петунин

РАЗРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЗАГРУЗКИ HPC-СИСТЕМ

Предложена методика анализа загрузки промышленных суперкомпьютеров уровня предприятия, базирующаяся на оценке статистических шаблонов программных приложений.

Обеспечение эффективной загрузки ресурсов высокопроизводительных вычислительных систем напрямую связано с созданием и использованием адаптивной технологии взаимодействия технического персонала и пользователей, которая бы учитывала не только особенности аппаратуры вычислительных кластеров, но и специфику рабочей нагрузки запускаемых приложений. Построение подобной системы обработки информации, ориентированной на качественное проведение массовых расчетов, невозможно без хорошего понимания статистических характеристик и шаблонов пользовательских заданий.

Большинство известных классификационных моделей рабочей нагрузки опирается на следующую интерпретацию [1; 2]:

– определение совокупности вычислительных заданий как объектов потребления суперкомпьютерных ресурсов;

– выделение групп субъектов-пользователей, генерирующих эти задания и имеющих различия по активности и параметрам запрашиваемых ресурсов.

При организации массовых расчетов в условиях промышленной вычислительной системы появляется возможность значительно расширить этот подход, в первую очередь, путем проведения классификации входного потока заданий с применением кастомизации приложений [3; 4]. В качестве примера можно привести паспортизацию вычислительного задания с привязкой к планам проводимых на предприятии научно-исследовательских работ:

1) «проект» — название головной плановой темы предприятия, по которой проводится расчет;

2) «задача» — название задачи, объединяющей группу запусков заданий, направленных на получение результата по одной расчетной модели;

3) «код», программный пакет — название прикладной программы, по которой производится моделирование;

4) «методика»/научная область — название области исследования/применения расчета и т. д.

Для обеспечения подобной классификации необходимо обязать пользователя указывать эти дополнительные поля при запуске задания. Это легко сделать, реализовав процедуру запроса паспортной формы задания, например, в прологе планировщика. Если применить аппарат кластеризации по нескольким категориям-факторам к входному потоку заданий, то становится возможным сделать шаблоны рабочей нагрузки более разнообразными и, соответственно, более реалистическими. Таким образом, предлагается расширить традиционную модель кластеризации входного потока заданий на основе поведения пользователей следующим образом:

$$W = \{K^F_i\},$$

где i =1, 2, …, n (n — количество кластеров);

F = <пользователь | задача | код |…> (тип фактора)

методика кластеризации:

k-means и др.;

параметры вектора: $<A, \{R_i\}, \{K_i\}>$

A — активность по фактору (доля заданий, %);

R_i — запрашиваемые ресурсы (например, R_1 — количество запрашиваемых узлов, R_2 — запрашиваемое время);

K_i — дополнительная группа параметров.

В таблице приведен пример вычисленных статистических характеристик ресурсной модели с параметрами R_1 (узлы) и R_2 (время выполнения) при группировке входного потока по двум категориям («пользователи» и «задачи») в 3 кластера, проведенной для 6-месячной выборки. Значения параметров нормализованы для проведения кластеризации. Графический результат кластеризации иллюстрируется на рис. 1.

Полученные статистические шаблоны поведения входного потока возможно использовать:

– при выборе и тюнинге алгоритмов управления заданиями;

– для назначения единых политик распределения ресурсов для кластерных групп.

Значения нормализованных параметров ресурсной модели кластеризации

Кластер	Доля заданий, %	mean узлы R_1	sd узлы	mean T_{RUN} R_2	sd T_{RUN}
K^{USER} 1	18	1.3	0.6	0.8	0.6
K^{USER} 2	41	1.2	1.0	3.7	1.0
K^{USER} 3	41	1.5	0.8	1.4	0.9
K^{TASK} 1	45	2.8	3.2	2.1	1.4
K^{TASK} 2	22	3.5	3.1	4.8	5.5
K^{TASK} 3	43	5.7	5.9	42.5	42.0

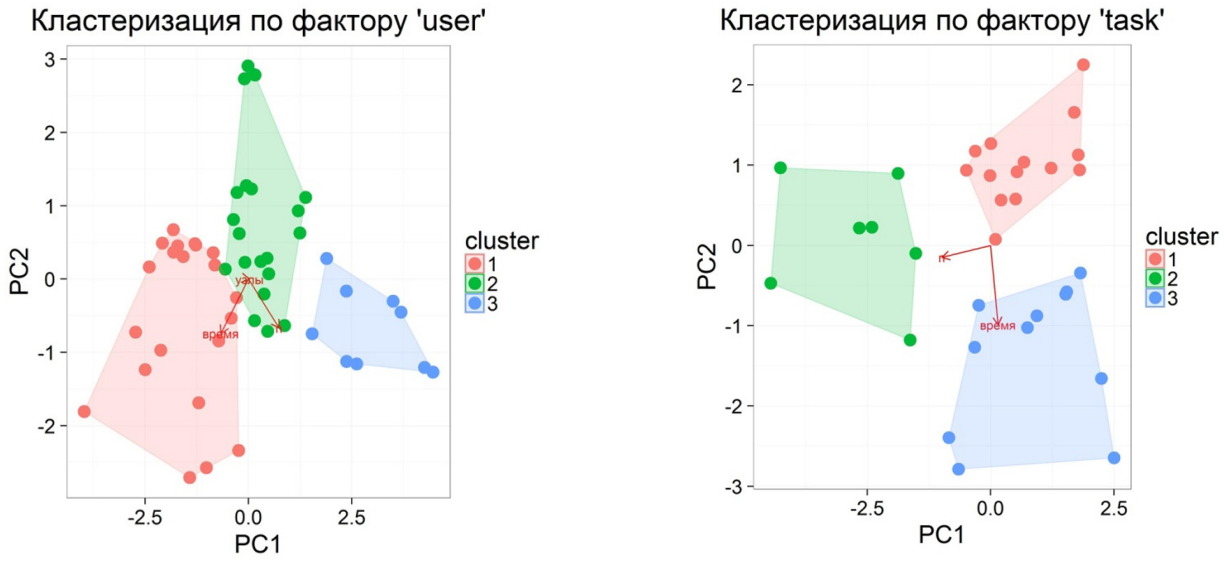


Рис. 1. Кластеризация по ресурсной модели в категориях «пользователь» и «задача»

Существует три штатных подхода для анализа эффективности выполнения параллельного приложения:

1) проведение профилирования своей программы самим пользователем;

2) сбор и анализ некоторых данных о выполнении программы на уровне системы мониторинга;

3) анализ временны́х характеристик использования ресурсов, сохраненных планировщиком в исторической базе данных.

Третий путь является наиболее простым решением, позволяя делать предварительные оценки эффективности выполнения заданий. Сделаем попытку проанализировать соответствие расчетных моделей со способностями прикладных пакетов к масштабированию. Применим следующую методику: в качестве индикаторов эффективности алгоритмов решателей программ определим и исследуем поведение двух параметров:

1. Доля затрат на системное время — коэффициент эффективности K_{ef1}. $K_{ef1} = T_{sys} / (T_{sys} + T_{user})$. Если его величина, находящаяся в интервале (0,1), превышает значение 0,5, это говорит о том, что более половины времени своего выполнения программа тратила на вызовы ядра операционной системы.

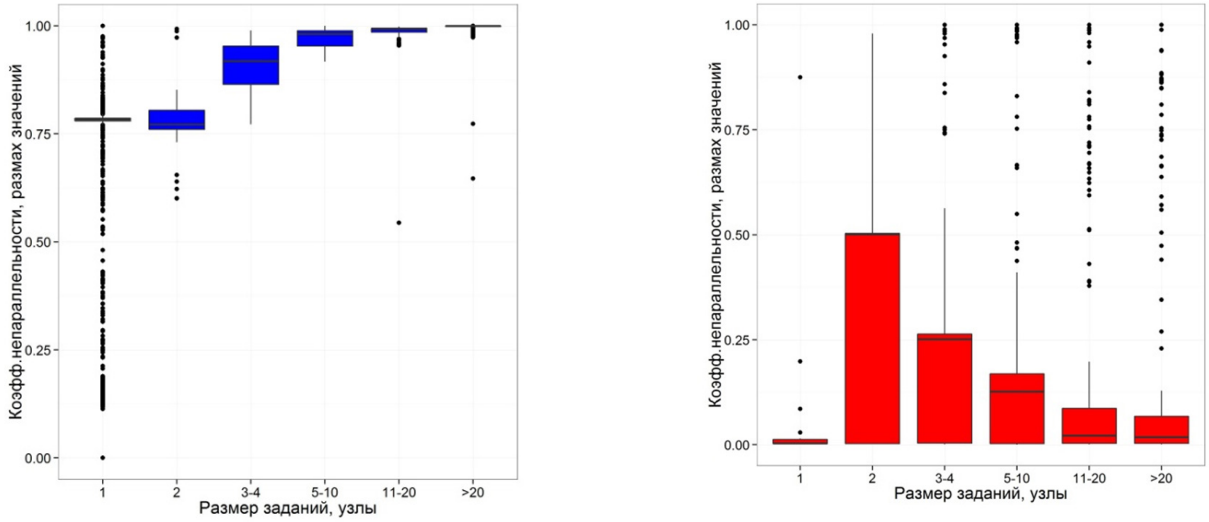
2. Второй индикатор показывает отношение разницы между потребленным вычислительным ресурсом кластера (процессорным временем T_{CPU}) и суммой времен системной и пользовательской фазы задания, используемых в предыдущей формуле. Можно попытаться интерпретировать это отношение как коэффициент «непараллельности» задания — K_{ef2}.

$$K_{ef2} = (T_{CPU} - (T_{sys} + T_{user})) / T_{CPU}.$$

Проблема использования столь простых, но мощных показателей заключается в некотором недоверии к значениям T_{sys} и T_{user} , сохраняемых планировщиком slurm. Определено, что задания, снимающиеся пользователем или по тайм-ауту, могут не передавать в планировщик для суммирования системное и пользовательское время со всех незаконченных процессов задания. Тем не менее в общем случае в качестве индикаторов «тревожности» о неэффективном использовании вычислительных ресурсов конкретным приложением, безусловно, введенные коэффициенты использовать целесообразно.

На рис. 2 приводится график, иллюстрирующий размах значений данного коэффициента для следующих двух прикладных пакетов (P_11 и P_9), который наглядно показывает динамику K_{ef2} при масштабировании узлов. В качестве типа представления графических данных выбран компактный статистический boxplot («ящик с усами»). Из рисунка можно сделать следующий вывод: P_11 и P_9 демонстрируют две противоположные зависимости от масштабирования узлов: в то время как у P_11 наблюдается экспоненциальное ухудшение коэффициента при переходе в группу с более ресурсоемкими заданиями, программа P_9 увеличивает утилизацию процессорного времени.

В настоящее время исследуется еще одна методика по автоматическому определению эффективных значений запрашиваемых ресурсов параллельного приложения, которая базируется на дополнительном расширении паспорта вычислительного задания параметрами, связанными с физико-математической характеризацией запускаемого приложения. К числу таких параметров могут относиться: размеры расчетной сетки, количество итераций проводимого расчета и т. д. На рис. 3 представлены результаты определения двух важных метрик масштабирования CPU для кода P_3 (при условии фиксирования количества итераций): точки увеличения общего времени расчета, несмотря на выделение заданию дополнительных процессоров (CPU = 20, эффект «загибания» кривой



Программа P_11 *Программа P_9*

Рис. 2. Boxplot для значений K_{ef2} по группам вычислительных узлов

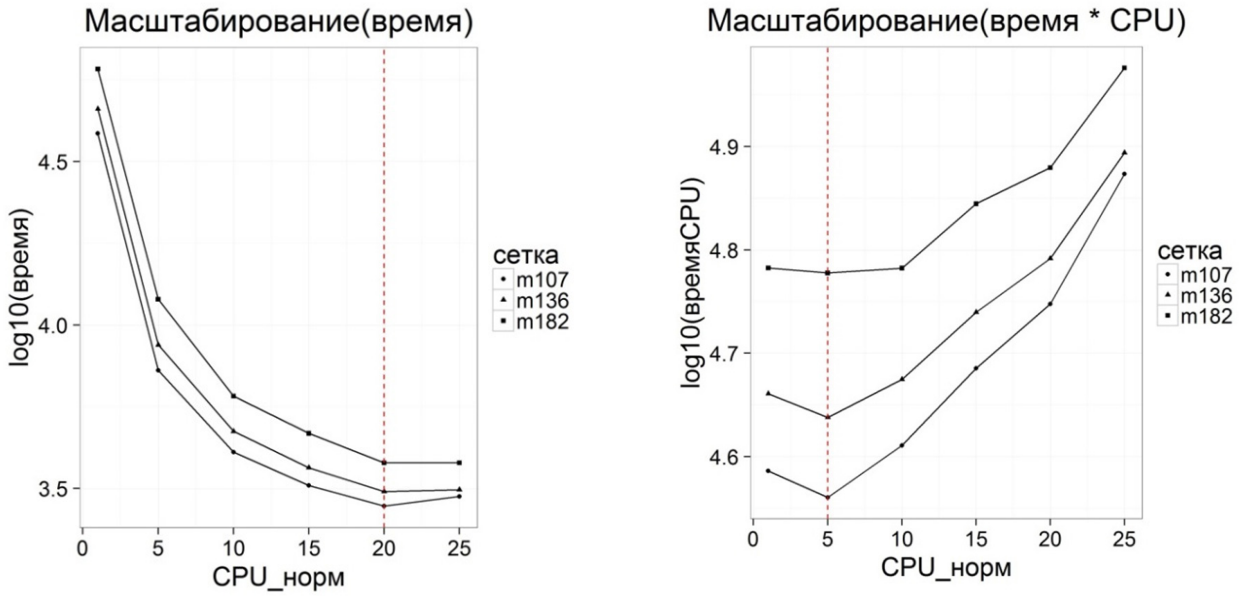


Рис. 3. Определение значений CPU при масштабировании вычислительных узлов для расчетной модели

Амдала), и точки оптимального задания количества процессоров для минимизации показателя cputime (при CPU = 5). Обе точки являются точками экстремума соответствующих графиков. Делается попытка подбора обобщенной статистической регрессионной модели для прогнозирования этих метрик.

Поддержка описанных выше методик анализа эффективности реализована в составе общих возможностей аналитического программного комплекса ANTIK. Программа обеспечивает следующий основной функционал:

– проведение статистического анализа временных, числовых и факторных показателей выполненных параллельных программ, включая формирование описательных статистик, функций распределения для заданных метрик и выявления зависимостей между характеристиками;

– формирование отчетов с обобщенной статистикой по различным группам;

– визуализацию всех статистических данных как базовых, так и консолидированных в виде различных графических представлений (рис. 3);

– обеспечение интерактивности работы аналитика с возможностью замены и масштабирования исследуемых показателей непосредственно на визуализируемых графиках;

– проведение анализа эффективности выполненных заданий с помощью специальных оценочных коэффициентов;

– унификацию и легкость импорта историче-

ских данных планировщика slurm в систему анализа из любой суперкомпьютерной системы без необходимости описания ее вычислительной конфигурации.

Программное обеспечение реализовано с помощью статистической системы программирования на базе языка R. Для построения интерфейсной части ANTIK используется веб-фреймворк shiny.

Библиографический список

1. Mishra, A. K. Towards Characterizing Cloud Backend Workloads: Insights from Google Compute Clusters / A. K. Mishra, J. L. Hellerstein, W. Cirne, C. R. Das // ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review. 2010. Vol. 37, № 4. P. 34–41.
2. Moreno, I. S. Analysis, Modeling and Simulation of Workload Patterns in Large-Scale Utility Cloud / I. S. Moreno, P. Garraghan, P. Townend, J. Xu // IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing. 2014.
3. Petunin, S. A. Management of HPC Clusters: Development and Maintenance / S. A. Petunin, K. V. Ivanov, A. B. Novikov // Proc. of the 15th International Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT'2013'. Vienna ; Budapest ; Bratislava, 2013. P. 43–46.
4. Петунин, С. А. Методика начального анализа рабочей нагрузки вычислительных кластеров / С. А. Петунин // Информационные технологии и системы : тр. Четвертой Междунар. науч. конф., Банное. Россия, 25 февр. — 1 марта 2015 г. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015. С. 129–130.

Сведения об авторе

Петунин Сергей Александрович — кандидат физико-математических наук, главный специалист Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н. Л. Духова, Москва. petunin@vniia.ru

---

S. A. Petunin

DEVELOPMENT OF STATISTICAL METHODS FOR HPC-SYSTEMS HISTORICAL DATA WORKLOAD ANALYSIS

The paper presents a methodology for analyzing workload industrial enterprise supercomputers, based on the assessment of the statistical patterns of software application

ББК Ж2-5-05
УДК 621.91

А. А. Петунин, В. Б. Репницкий, Н. С. Склярова

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ АППРОКСИМАЦИИ ЛОМАНОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ КРУГОВОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ИНСТРУМЕНТА МАШИНЫ ЛИСТОВОЙ РЕЗКИ С ЧПУ

Рассматривается задача аппроксимации двумерной ломаной линии составной кривой, содержащей дуги окружности и отрезки прямой. Такая задача возникает при разработке управляющих программ для машин фигурной листовой резки с числовым программным управлением (ЧПУ), допускающим круговую интерполяцию. Предложен оригинальный алгоритм решения, минимизирующий число элементов результирующей составной кривой. Алгоритм реализован в среде российской CAD-системы T-Flex CAD с использованием API (Application Program Interface) системы. Приводится результат тестового расчета и его геометрическая визуализация.

При разработке управляющих программ для машин фигурной листовой резки с ЧПУ информация о движении инструмента, как правило, предварительно формируется в САМ-системе (Computer Aided Manufacturing) на основе информации о геометрии вырезаемых контуров заготовок и сформированной раскройной карте. Современные контроллеры ЧПУ используют либо линейную интерполяцию (перемещение по прямой), либо — круговую (перемещение по дуге окружности). Если геометрия некоторого сегмента контура заготовки состоит из большого числа сравнительно коротких отрезков (а такая ситуация возникает чаще всего при аппроксимации в системе геометрического моделирования контура заготовки ломаной линией каким-либо конвертером), то это может привести к снижению качества поверхности реза, износу частей технологического оборудования и увеличению времени резки заготовок. При использовании машин термической резки с ЧПУ такие «плохие» сегменты контура вызывают и дополнительные тепловые деформации материала, что может приводить к геометрическим искажениям заготовок. В связи с этим возникает задача аппроксимации такого рода контуров контурами, состоящими из меньшего числа геометрических примитивов, содержащих наряду с отрезками прямых также и дуги окружности [1]. Использование сплайнов в данном случае невозможно из-за отсутствия в большинстве контроллеров ЧПУ «сплайновых» интерполяторов.

Постановка задачи

Пусть задана непересекающаяся ломаная линия в виде последовательности узлов с координатами: A_1 (x_1, y_1), A_2 (x_2, y_2),..., A_n (x_n, y_n), $n > 1$. Ломаная удовлетворяет условию: расстояние от любого ее узла до ближайшего к нему звена ломаной, не содержащего этот узел, больше заданной величины $2e$; в частности, расстояние между любыми узлами (т. е. длина всякого звена) больше $2e$. Необходимо построить непересекающуюся линию в виде последовательности узлов B_1 (u_1, v_1), B_2 (u_2, v_2), ..., B_m (u_m, v_m), соединенных между собой дугами окружностей или прямыми отрезками, удовлетворяющая следующим условиям:

(1) расстояние от точек этой линии до ближайших к ним точек исходной ломаной не должно превышать величины e;

(2) число узлов m линии должно быть минимально возможным;

(3) если два соседних узла конструируемой линии можно соединить как дугой окружности, так и отрезком с соблюдением условия (1), то приоритет отдается отрезку.

Дуга, соединяющая соседние узлы линии B_j *и* B_{j+1} ($j = 1, 2,\ldots, m - 1$), однозначно задается своей кривизной $curv_j$; считаем по определению, что кривизна отрезка равна нулю. Таким образом, на выходе наряду с последовательностью узлов выдается последовательность соответствующих кривизн $curv_1$, $curv_2$, ..., $curv_{n-1}$.

Замечание. Абсолютная величина кривизны дуги окружности по определению равна отношению высоты сегмента (ограниченного этой дугой и хордой, на которую дуга опирается) к половине длины хорды. Кривизна положительна, если дуга находится справа от вектора направления обхода дуги и отрицательна в противном случае. Таким образом, если дуга является полуокружностью, то ее кривизна по модулю равна единице. Накладывается дополнительное ограничение: дуга не может быть больше полуокружности, т. е. кривизна по модулю не должна превосходить единицы. Поэтому если кусок конструируемой линии больше полуокружности, следует ее разбить на две дуги. Например, если линия на выходе оказалась окружностью, то она задается последовательностями трех узлов B_1, B_2, B_3 и двух кривизн $curv_1$, $curv_2$, где B_1 и B_2 — диаметрально противоположные точки, $B_1 = B_3$ и $curv_1 = curv_2 = 1$ или $curv_1 = curv_2 = 1$.

Необходимые формулы

Для решения геометрических подзадач на плоскости нам понадобятся некоторые формулы (см., например, [2])

Формула 1. Пусть основание перпендикуляра, опущенного из точки U (x, y) на отрезок A (s_0, t_0) B $(s_1,$

t_1), лежит на самом отрезке, а не на его продолжении (необходимые и достаточные условия для этого приведены в предложении 1). Тогда расстояние d от точки U до отрезка AB равно

$$d = \left| \frac{(t_1 - t_0)(x - s_0) + (s_1 - s_0)(t_0 - y)}{\sqrt{(t_1 - t_0)^2 + (s_1 - s_0)^2}} \right|.$$

Формулы 2: вычисление ряда параметров дуги *ABC* окружности, проходящей через точки A (s_0, t_0), B (s_1, t_1) и C (s_2, t_2), где точки A и C — соответственно начало и конец дуги, точка B лежит на дуге (предполагается, что дуга *ABC* не больше полуокружности).

2.1. Радиус R и координаты центра O (c_0, d_0) соответствующей окружности

$$R = \sqrt{\frac{abc}{2(ab + ac + bc) - (a^2 + b^2 + c^2)}},$$

где

$$a = (s_1 - s_0)^2 + (t_1 - t_0)^2;$$

$$b = (s_2 - s_1)^2 + (t_2 - t_1)^2;$$

$$c = (s_2 - s_0)^2 + (t_2 - t_0)^2;$$

$$c_0 = -\frac{Z_s}{2Z};\ d_0 = -\frac{Z_t}{2Z};$$

$$Z_s = (t_0 - t_1)(s_2^2 + t_2^2) +$$

$$(t_1 - t_2)(s_0^2 + t_0^2) + (t_2 - t_0)(s_1^2 + t_1^2);$$

$$Z_t = (s_0 - s_1)(s_2^2 + t_2^2) +$$

$$(s_1 - s_2)(s_0^2 + t_0^2) + (s_2 - s_0)(s_1^2 + t_1^2);$$

$$Z = (s_0 - s_1)(t_2 - t_0) -$$

$$(t_0 - t_1)(s_2 - s_0).$$

2.2. Высота H сегмента, ограниченного дугой *ABC* и хордой *AC*, на которую эта дуга опирается:

$$h = R - \sqrt{R^2 - \frac{c}{4}}$$

(здесь R и c — параметры из п. 2.1).

2.3. Абсолютная величина кривизны *curv* дуги ABC:

$$|curv| = \frac{2h}{\sqrt{c}}.$$

2.4. Знак кривизны дуги *ABC*:

Знак кривизны положительный, т. е. $curv = +|curv|$, если величины

$$(t_1 - t_0)(s_2 - s_0) - (t_2 - t_0)(s_1 - s_0)$$

$$\text{и } (s_1 - s_0)(s_2 - s_0)$$

одного знака или $s_1 = s_0$ и $(t_1 - t_0)(s_2 - s_0) > 0$ или $s_2 = s_0$ и $(t_2 - t_0)(s_1 - s_0) < 0$.

Знак кривизны отрицательный, т. е. $curv = -|curv|$ в остальных случаях.

2.5. Пусть O (c_0, d_0) — центр окружности, которой принадлежит дуга ABC (см. п. 2.1). Пусть точка M (x, y) лежит между лучами OA и OC (как и дуга *ABC*); выполнение этого условия дается в предложении 3 ниже. Тогда расстояние d от точки U (x, y) до дуги *ABC* вычисляется по формуле

$$d = \left| R - \sqrt{(x - c_0)^2 + (y - d_0)^2} \right|,$$

где (c_0, d_0) — координаты центра O соответствующей окружности (см. п. 2.1).

Следующие предложения используются в алгоритме.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ 1. Для точек A(s_0, t_0), B(s_1, t_1) и U(x, y) основание S(u, v) перпендикуляра, опущенного из точки U на прямую, проходящую через точки A и B, лежит на отрезке AB (а не на его продолжении) тогда и только тогда, когда или $z_0 = 0$ или $z_1 = 0$, или величины z_0 и z_1 разных знаков, т. е.

$$z_0 * z_1 < 0, \text{ где}$$

$$z_0 = (x - s_0)(s_1 - s_0) + (y - t_0)(t_1 - t_0);$$

$$z_1 = (x - s_1)(s_1 - s_0) + (y - t_1)(t_1 - t_0).$$

При этом координаты основания перпендикуляра S (u, v) вычисляются по формулам

$$u = \frac{s_0 (t_1 - t_0)^2}{(t_1 - t_0)^2 + (s_1 - s_0)^2} +$$

$$+ \frac{(y - t_0)(s_1 - s_0)(t_1 - t_0)}{(t_1 - t_0)^2 + (s_1 - s_0)^2} +$$

$$+ \frac{x (s_1 - s_0)^2}{(t_1 - t_0)^2 + (s_1 - s_0)^2};$$

$$v = \frac{y (t_1 - t_0)^2}{(t_1 - t_0)^2 + (s_1 - s_0)^2} +$$

$$+ \frac{(x - s_0)(s_1 - s_0)(t_1 - t_0)}{(t_1 - t_0)^2 + (s_1 - s_0)^2} +$$

$$+ \frac{t_0 (s_1 - s_0)^2}{(t_1 - t_0)^2 + (s_1 - s_0)^2}.$$

ПРЕДЛОЖЕНИЕ 2. Для точек A(s_0, t_0), B(s_1, t_1) и U(x, y) угол между векторами UA и UB не острый, т. е. $90 \le AUB \le 180$, в том и только в том случае, если

$$(s_0 - x)(s_1 - x) + (t_0 - y)(t_1 - y) \le 0.$$

ПРЕДЛОЖЕНИЕ 3. Пусть O(c_0, d_0) — центр окружности, которой принадлежит дуга A (s_0, t_0) B (s_1, t_1), C (s_2, t_2) (см. п. 2.1). Рассмотрим угол между лучами OA и OC, в котором лежит дуга *ABC*. Тогда

точка $M(x, y)$ лежит внутри этого угла в том и только в том случае, когда одновременно $Z_{AB} * Z_{AM} \geq 0$ и $Z_{CB} * Z_{CM} \geq 0$, где

$$Z_{CB} = (d_0 - t_2)(s_1 - s_2) - (c_0 - s_0)(t_1 - t_0);$$

$$Z_{AM} = (d_0 - t_0)(x - s_0) - (c_0 - s_0)(y - t_0)$$

и $$Z_{CB} = (d_0 - t_2)(s_1 - s_2) - -(c_0 - s_2)(t_1 - t_2);$$

$$Z_{CM} = (d_0 - t_2)(x - s_2) - -(c_0 - s_2)(y - t_2).$$

ПРЕДЛОЖЕНИЕ 4. Узлы $A(s_0, t_0)$, $B(s_1, t_1)$ и $C(s_2, t_2)$ ломаной не лежат на одной прямой, тогда и только тогда, когда

$$(s_1 - s_0)(t_2 - t_0) \neq (t_1 - t_0)(s_2 - s_0).$$

Для основного алгоритма нам потребуется еще знать решение следующей задачи:

Алгоритм вычисления максимального отклонения δ дуги окружности от ломаной.

Пусть $A(s_0, t_0)$, $B(s_1, t_1)$ и $C(s_2, t_2)$ — дуга окружности радиуса R с центром в точке $O(c_0, d_0)$, причем эта дуга не больше полуокружности. Пусть $U_1(x_1, y_1)$, $U_2(x_2, y_2), \ldots, U_p(x_p, y_p)$ — ломаная линия, узлы которой лежат в том же угле между лучами OA и OC, что и дуга ABC. Для каждого звена ломаной U_aU_{a+1}, $1 \leq a \leq p - 1$ рассмотрим основание S_a перпендикуляра, опущенного из точки O на прямую, проходящую через концы звена U_aU_{a+1}. Точка S_a может принадлежать отрезку U_aU_{a+1}, а может лежать на его продолжении (вычисление координат точки S_a, а также условие, когда S_a принадлежит $U_aU_{a+1}1$, см. в предложении 1). Из всех точек S_a, для которых S_a принадлежит U_aU_{a+1}, составим множество W (оно может оказаться пустым). По формуле из п. 2.5 вычислим расстояния до дуги ABC от всех узлов ломаной $U_1, U_2, \ldots, U_p$, а также от всех точек из множества W. Наибольшее значение всех этих расстояний и есть максимальное отклонение δ заданной дуги от заданной ломаной линии.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 1. Говорим, что узел C_k в последовательности узлов $C_1, C_2, C_3, \ldots$ удовлетворяет условию (*), если для любого индекса i, $1 < i < k$, основание перпендикуляра, опущенного из узла C_i, на прямую, проходящую через первый узел C_1 последовательности и узел C_k, принадлежит отрезку C_1, C_k (выполнение этого условия см. в предложении 1). Первые два узла последовательности C_1 и C_2 по определению всегда удовлетворяют условию (*).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2. Говорим, что тройка узлов (C_1, C_r, C_p), $1 < r < p$, в последовательности узлов C_1, C_2, C_3, удовлетворяет условию (**), если выполнены следующие условия:

– узлы C_1, C_r, C_p, не лежат на одной прямой (см. предложение 4);

– угол между векторами C_rC_1 и C_rC_p не острый (это условие проверяется с помощью предложения 2); заметим, что в этом случае, дуга $C_1C_rC_p$ окружности, проходящей через эти узлы, меньше полуокружности;

– если O — центр окружности, проходящей через эти узлы (его координаты см. в формулах 2), то для любого i, $1 < i < p$, узел C_i находится в том же угле между лучами OC_1 и OC_p, что и дуга $C_1C_rC_p$ (выполнение этого условия см. в предложении 3).

Алгоритм аппроксимации ломаной линии с заданными условиями

Шаг 1. Полагаем $B_1(u_1, v_1) = A_1(x_1, y_1)$, $i = 1, j = 1$.

Шаг 2. Если $i = n$, то переходим к шагу 5. В противном случае в последовательности узлов $A_i(x_i, y_i)$, $A_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1}), \ldots, A_n(x_n, y_n)$ выбираем все узлы, которые относительно этой последовательности удовлетворяют условию (*), и формируем из них множество X. Далее, для каждого узла A_p, принадлежащего X $(p \geq i + 1)$, по формуле 1 вычислим расстояния от узлов $A_{i+1}, A_{i+2}, \ldots, A_{p-1}$ до отрезка A_iA_p, и выберем те узлы A_p из X, для которых все такие расстояния не превосходят величины е. Заметим, что в число таких узлов всегда попадает узел A_{i+1}. Среди отобранных узлов отметим узел A_q, с наибольшим номером q. По построению, $i + 1 \leq q \leq n$. Если $q = n$, то переходим к шагу 3. В противном случае переходим к шагу 4.

Шаг 3. Полагаем:

$B_{j+1}(u_{j+1}, v_{j+1}) = A_q(x_q, y_q)$, $curv_j = 0$, $i = q$, $j = j + 1$ и переходим к шагу 2.

Шаг 4 (попытка заменить, если окажется возможным, построенный в шаге 2 отрезок A_iA_q, более длинной дугой окружности). Сформируем множество Y всех троек узлов (A_i, A_r, A_p), удовлетворяющих следующим свойствам:

(1) $i < r < p$, $q < p$;

(2) тройка узлов (A_i, A_r, A_p) удовлетворяет условию (**) относительно последовательности $A_i(x_i, y_i)$, $A_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1}), \ldots, A_n(x_n, y_n)$.

Если $Y = 0$, то переходим к шагу 3. В противном случае для каждой тройки узлов (A_i, A_r, A_p), принадлежащей Y, вычисляем максимальное отклонение δ куска ломаной $A_i(x_i, y_i)$, $A_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1}), \ldots, A_p(x_p, y_p)$ от соответствующей дуги окружности A_i, A_r, A_p (требуемый алгоритм приведен выше после предложения 4). Сформируем множество Z всех троек узлов (A_i, A_r, A_p), принадлежащих Y, для каждой из которых соответствующее отклонение δ не превосходит величины e.

Если $Z = 0$, то переходим к шагу 3. В противном случае выбираем в множестве троек (A_i, A_r, A_p) принадлежащие Z ту, для которой значение параметра p наибольшее. Если таких троек несколько, то выбираем любую из них. Пусть $(A_i,$

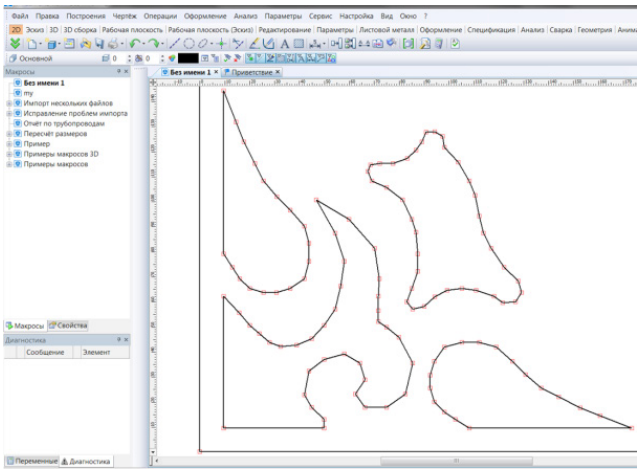


Рис. 1. Пример четырех многоугольников, заданных в системе Flex CAD

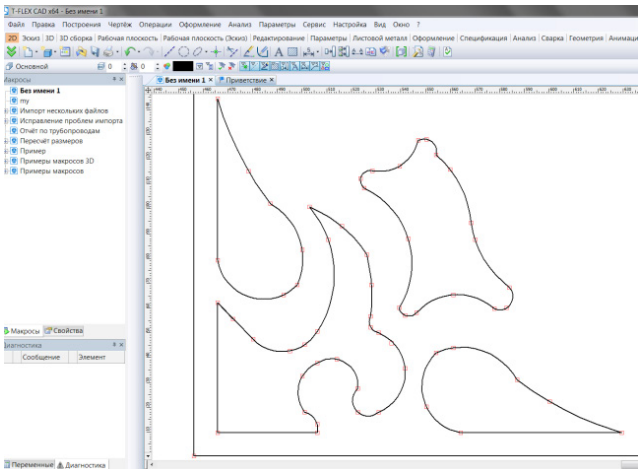


Рис. 2. Результат работы алгоритма аппроксимации

A_r, A_p) — выбранная указанным способом тройка из Z. По формулам из п. 2.2–2.4 вычисляем кривизну $curv_{AiArAp}$ дуги $A_iA_rA_p$, Полагаем B_{j+1} $(u_{j+1}, v_{j+1}) = A_p$ (x_p, y_p), $curvj = curv_{AiArAp}$, $i = p$, $j = j+1$ и переходим к шагу 2.

Шаг 5. Положить $m = j$ и выдать построенную последовательность узлов B_1 (u_1, v_1), B_2 (u_2, v_2), ..., B_m (u_m, v_m) вместе с последовательностью кривизн $curv_1$, $curv_2$, ..., $curv_{m-1}$.

Визуализация алгоритма

Работа алгоритма, реализованного в среде Microsoft Visual Studio 2012 на языке C# [3], была визуализирована в российской Computer-Aided-Design (CAD) системе T-Flex CAD [4] с использованием программного интерфейса T-Flex CAD Open API, основанного на технологии .NET.

На рис. 1 и 2 показан пример работы алгоритма при аппроксимации с точностью 5 мм четырех замкнутых многоугольных контуров, содержащих 112 узлов. В результате замены кусочно-линейных сегментов контуров на отрезки и дуги окружностей число узлов уменьшено до 27.

Библиографический список

1. Автоматизированное проектирование управляющих программ для изготовления художественных металлических оград из листового материала / А. А. Петунин // САПР и графика. 2010. № 3. С. 75–77.
2. Аналитическая геометрия на плоскости. Поверхности второго порядка : учеб. пособие / А. Б. Соболев, М. А. Вигура, А. Ф. Рыбалко, Н. М. Рыбалко. Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2005. 76 с.
3. Библиотека MSDN : справ. по C# [Электронный ресурс] / Microsoft, 2015. URL: https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library
4. T-Flex CAD — топ-системы [Электронный ресурс]. URL: http://www.topsystems.ru

Сведения об авторах

Петунин Александр Александрович — доктор технических наук, профессор Уральского федерального университета, Екатеринбург. a. a.petunin@urfu.ru

Репницкий Владимир Брониславович — доктор физико-математических наук, профессор Уральского федерального университета, Екатеринбург. vladimir.repnitskii@urfu.ru

Склярова Наталья Сергеевна — старший преподаватель Уральского федерального университета, Екатеринбург. nack@yandex.ru

A. A. Petunin, V. B. Repnitsky, N. S. Sklyarova

ABOUT ONE APPROXIMATION METHOD FOR THE ANGLE LINE AT PROGRAMMING OF CIRCLE INTERPOLATION FOR THE TOOL OF THE CNC PLATE CUTTING MACHINES

In paper the problem of approximation of the two-dimensional angled line by composite curve containing the circle arcs and segments of a straight line is considered. Such problem arises, in particular, by development of the numerical control programs for CNC plate cutting machines having the linear and circle interpolation. The original algorithm of the decision minimizing number of elements in a resultant composite curve is offered. The algorithm is realized in the environment of T-Flex CAD system by using of API. The test result and its geometrical visualization are given.

ББК В174
УДК 519.8

Е. А. Савицкий

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МАРШРУТА ВЫРЕЗАНИЯ ПРЯМОУГОЛЬНИКОВ ДЛЯ УКЛАДКИ, ПРЕДСТАВЛЕННОЙ В МАТРИЧНОЙ ФОРМЕ

На экономическую эффективность выполнения раскроя плоского материала влияет множество параметров. Экономия может быть достигнута не только за счет сокращения объема затраченных материалов, но и благодаря удешевлению операции раскроя. Для этой цели предложены методы быстрой оценки оптимальности возможного маршрута раскроя на этапе размещения деталей на заготовке.

Известно, что стоимость процесса раскроя зависит в основном от трех факторов: длины пути холостого хода, длины пути реза и количества холостых проходов (т. е. точек врезки) [1]. Эти величины являются основными критериями оптимальности для задачи построения маршрута (программы) раскроя.

В процессе работы станки с числовым программным управлением четко следуют инструкциям и не могут принимать решения относительно правильности выполняемых действий. Поэтому к программе, сформированной на этапе технологической подготовки раскроя, предъявляются особые требования. Одним из основных требований является соответствие маршрута раскроя условию упорядоченного охватывания, то есть каждая отделенная от заготовки часть материала не должна требовать дополнительной резки. Это условие формализовано в терминах теории графов [2].

Обратим внимание, что при представлении укладки фигур сложной формы в формате плоского графа:

– контур детали, описанный сложной геометрической линией, может быть представлен в форме единственного ребра плоского графа;

– соединенные края деталей, вырезание которых может быть выполнено техникой совмещенного реза, должны быть представлены одним ребром графа.

Таким образом, укладку (рис. 1, *а*) можно представить в форме плоского графа (рис. 1, *б*).

Если плоский граф G, представляющий образ раскройного плана, является связным и не содержит мостов (т. е. ребер, инцидентных единственной грани), то оказывается возможным построение OE-маршрута, в котором холостым перемещениям будут соответствовать ребра паросочетания M (оптимального паросочетания на множестве вершин графа нечетной степени) и только они. Задачу построения такого маршрута решает алгоритм M-OE-Router [3].

Доказательство результативности алгоритма для плоских графов без мостов имеется в работе [1], там же показано, что вычислительная сложность алгоритма не превосходит величины $O(|E(G)|\log_2|V(G)|)$.

Заметим, что связные плоские графы, являющиеся образами раскройных планов, не содержат мостов. Следовательно, для них алгоритм *M-OE-Router* строит маршрут с минимальной длиной холостых переходов.

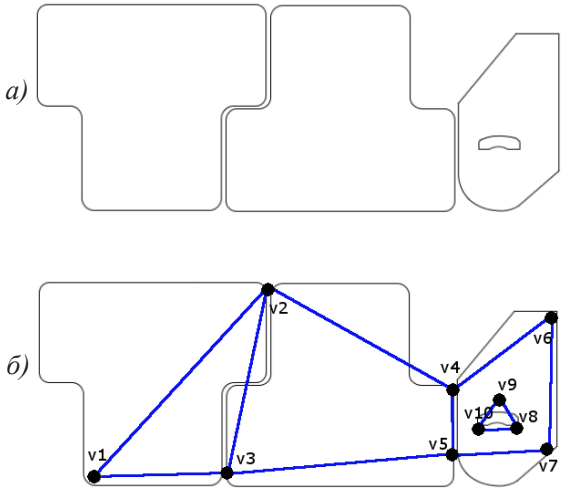


Рис. 1. Пример укладки деталей сложной формы

Существование алгоритма *M-OE-Router* позволяет сделать вывод о том, что для любого связного плоского графа без мостов, представляющего раскройный план, может быть построено покрытие:

– удовлетворяющее условию упорядоченного охватывания граней (на базе такого покрытия может быть сформирована программа раскроя);

– число OE-цепей которого не превосходит $V_{odd}/2+1$ (как и число точек врезки в полученном на базе этого покрытия маршруте раскроя);

– суммарная длина холостых переходов может быть оценена как вес оптимального паросочетания M на множестве вершин нечетной степени.

Приведенные выше утверждения позволяют оценить основные критерии стоимости выполнения раскроя не запуская алгоритм построения маршрута. При использовании этих оценок может быть выбран подходящий вариант укладки деталей на заготовку.

Задача упаковки прямоугольников в полубесконечную полосу

В [4] представлен матричный алгоритм поиска оптимального решения для задачи упаковки прямоугольников в полубесконечную полосу. При поиске оптимальной укладки используется матричное представление упаковки.

Пусть известна упаковка P. Выполним мысленно вертикальные «резы», проходящие через правые стороны прямоугольников R. Таким образом, вся упаковка делится на вертикальные полосы. Обозначим k_x — число вертикальных полос. Аналогично выполним мысленно горизонтальные резы, проходящие через верхние стороны прямоугольников, k_y — число горизонтальных полос. Для примера, представленного на рис. 2, $k_x = 6$, $k_y = 4$.

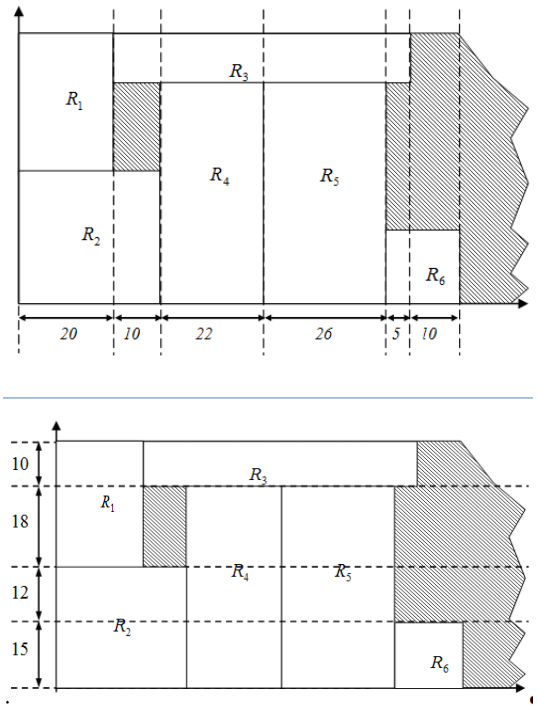


Рис. 2. Вертикальные и горизонтальные «резы»

Вертикальному разбиению упаковки на полосы сопоставим следующую пару: 1) матрицу $\mathbf{A}^x$ размерности $m \times k_x$ по правилу

$$a_{ij}^x = \begin{cases} 1, \text{ если } i\text{-й прямоугольник} \\ \text{пересекается } j\text{-й вертикаль-} \\ \text{ной полосой;} \\ 0, \text{ в противном случае} \end{cases}$$

и 2) вектор $\mathbf{z}^x = (z_1^x, z_2^x, \ldots z_{k_x}^x)$, элементами которого являются значения длин вертикальных полос.

Аналогично горизонтальному разбиению сопоставим матрицу $\mathbf{A}^y$ размерности $m \times k_y$ и вектор $\mathbf{z}^y = (z_1^y, z_2^y, \ldots z_{k_y}^y)$. Для упаковки P, представленной на рис. 4, имеем:

$$\mathbf{A}^x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{z}^x = (20, 10, 22, 26, 5, 10);$$

$$\mathbf{A}^y = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{z}^y = (5, 12, 18, 10).$$

Полученные указанным способом матрицы $\mathbf{A}^x$ и $\mathbf{A}^y$ будем называть матрицами упаковки, а векторы $\mathbf{z}^x$ и $\mathbf{z}^y$ — векторами упаковки.

Существует эффективный алгоритм построения ОЕ-покрытия плоского связного графа (маршрута вырезания прямоугольников), поэтому можно вычислить основные показатели оптимальности такого маршрута без непосредственного его построения.

Для удобства вычисления сформируем матрицу $\mathbf{M}^{xy}$ размера $k_y + 2$ строк и $k_x + 2$ столбцов для упаковки, представленной в матричной форме, следующим образом:

– инициализировать матрицу $\mathbf{M}^{xy}$ значением –1;

– $m_{ij}^{xy} = k$, если $\exists k : (a_{ki}^x = 1) \wedge (a_{kj}^y = 1)$;

– добавить по одной строке сверху и снизу, по одному столбцу слева и справа.

Получившаяся в результате матрица $\mathbf{M}^{xy}$ совместно с векторами $\mathbf{z}^x$ и $\mathbf{z}^y$ является представлением карты раскроя. Для рассматриваемого примера такая матрица представлена на рис. 3.

-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	1	1	3	4	5	5	-1
-1	1	1	3	4	-1	-1	-1
-1	0	-1	3	4	-1	-1	-1
-1	0	2	2	2	2	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Рис. 3. Матрица $\mathbf{M}^{xy}$

Вычисление суммарной длины резки

Суммарная длина резки зависит от интенсивности использования техники совмещенного реза при вырезании деталей и значительно меняется в зависимости от упаковки. Используя матрицу $\mathbf{M}^{xy}$ и векторы $\mathbf{z}^x$, $\mathbf{z}^y$, можно определить ее за время, пропорциональное размеру матрицы.

Алгоритм ***LengthCount***

Входные данные:

– карта раскроя, представленная матрицей $\mathbf{M}^{xy}$ и векторами $\mathbf{z}^x$, $\mathbf{z}^y$.

Выходные данные:

– суммарная длина резки *Length*.

Шаг 0. *Length = 0; i = 0; j = 0.*

Шаг 1. *Для* $\forall m_{i,j}^{xy} : (i = 0..k_y, j = 0..k_x)$ *выполнить шаги 2–3, далее шаг* 4.

Шаг 2. *Если* $m_{i,j}^{xy} \neq m_{i+1,j}^{xy}$, *то Length=Length+* z_j^y.

Шаг 3. *Если* $m_{i,j}^{xy} \neq m_{i,j+1}^{xy}$, *то Length=Length+* z_i^x.

Шаг 4. *Вывод Length.*

Конец алгоритма *LengthCount.*

Минимальное число точек врезки и минимальная длина холостых переходов

Если представить раскройный план в формате плоского графа и сформировать маршрут вырезания, то вершинам нечетной степени будут соответствовать концы холостых переходов. Алгоритм *M-OE-Router* гарантирует, что для плотной укладки прямоугольников число холостых переходов будет равно половине числа вершин нечетной степени ($V_{odd}/2$). На концах холостых переходов располагаются точки врезки и выхода из материала. Определить их число и координаты можно за один проход по матрице $\mathbf{M}^{xy}$. Для этого можно использовать следующий алгоритм:

Алгоритм ***IncutCount***

Входные данные:

– карта раскроя, представленная матрицей $\mathbf{M}^{xy}$ и векторами $\mathbf{z}^x$, $\mathbf{z}^y$.

Выходные данные:

– минимальное число точек врезки $V_{odd}/2$;

– список координат вершин нечетной степени *List*.

Шаг 0. $V_{odd} = 0; x = 0; y = 0; List = \varnothing; i = 0; j = 0.$

Шаг 1. *Для* $i = 0..k_y$ *выполнить шаги 2–5, далее шаг 6.*

Шаг 2. *Для* $j = 0..\ k_x$ *выполнить шаги 3–4, далее шаг 5.*

Шаг 3. *Если*

$$(m_{i,j}^{xy} = m_{i+1,j}^{xy}) \wedge (m_{i,j}^{xy} \neq m_{i,j+1}^{xy}) \wedge (m_{i+1,j}^{xy} \neq m_{i+1,j+1}^{xy}) \wedge (m_{i,j+1}^{xy} \neq m_{i+1,j+1}^{xy})$$
$$\vee (m_{i,j}^{xy} \neq m_{i+1,j}^{xy}) \wedge (m_{i,j}^{xy} = m_{i,j+1}^{xy}) \wedge (m_{i+1,j}^{xy} \neq m_{i+1,j+1}^{xy}) \wedge (m_{i,j+1}^{xy} \neq m_{i+1,j+1}^{xy})$$
$$\vee (m_{i,j}^{xy} \neq m_{i+1,j}^{xy}) \wedge (m_{i,j}^{xy} \neq m_{i,j+1}^{xy}) \wedge (m_{i+1,j}^{xy} = m_{i+1,j+1}^{xy}) \wedge (m_{i,j+1}^{xy} \neq m_{i+1,j+1}^{xy})$$
$$\vee (m_{i,j}^{xy} \neq m_{i+1,j}^{xy}) \wedge (m_{i,j}^{xy} \neq m_{i,j+1}^{xy}) \wedge (m_{i+1,j}^{xy} \neq m_{i+1,j+1}^{xy}) \wedge (m_{i,j+1}^{xy} = m_{i+1,j+1}^{xy}),$$

тогда {Vodd = Vodd + 1; List = List $\cup$ *(x, y)}.*

Шаг 4. $x = x + z_j^x$.

Шаг 5. $y = y + z_i^y$.

Шаг 6. *Вывод* $V_{odd}/2$, *вывод List.*

Конец алгоритма *IncutCount.*

Общая длина холостых переходов может быть определена как суммарная длина оптимального взвешенного паросочетания на множестве вершин *List* в евклидовом пространстве. Для ее определения используется алгоритм Краскала, сложность которого оценивается как $O(n^3)$.

Заключение

Главное внимание в статье было уделено задаче быстрой оценки основных характеристик маршрута вырезания на этапе поиска оптимальной упаковки.

Предложены алгоритмы оценки суммарной длины реза, холостых переходов и числа точек врезки на этапе формирования упаковки при использовании матричного алгоритма.

Библиографический список

1. Панюкова, Т. А. Оптимизация использования ресурсов при технологической подготовке процессов раскроя / Т. А. Панюкова // Приклад. информатика. 2012. № 3 (39). С. 20–32.
2. Panyukova, T. Cover with Ordered Enclosing for Flat Graphs / T. Panyukova // Electronic Notes in Discrete Mathematics. 2007. № 28. P. 17–24.
3. Макаровских, Т. А. Абстрагирование раскройного плана до плоского графа для эффективного решения задачи вырезания деталей / Т. А. Макаровских, Е. А. Савицкий // Вестн. УГАТУ. 2015. Т. 19, № 3 (69). С. 190–196.
4. Картак, В. М. Матричный алгоритм поиска оптимального решения для задачи упаковки прямоугольников в полубесконечную полосу / В. М. Картак // Информ. технологии. 2008. № 2. С. 24–30.

Сведения об авторе

Савицкий Егор Александрович — аспирант Южно-Уральского государственного университета (Национального исследовательского университета), Челябинск. egor88@inbox.ru

---

E. A. Savitsriy

CUTTER ROUTING EFFICIENCY FOR MATRIX ENCODED RECTANGLE CUTTING MAP

Economic efficiency of flat material cutting process depends from many parameters. Economy could be reached not only by optimal material usade but also by decreasing cutting price. For this aim paper gives methods for fast counting cutter way parameters during packing process.

ББК Ж605с5
УДК 621

Н. Д. Старостин

ВАРИАНТЫ РАСЧЁТА МИНИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ОБРАБОТКИ

Рассматриваются варианты построения алгоритма для приближенного решения классической задачи коммивояжера с заданием объектов, как координатами, так и таблицей расстояний. Тестирование алгоритма на множестве примеров с произвольным расположением объектов обхода показало его необыкновенную способность относительно быстро и точно достигать оптимального или заявленного таковым значения минимальной длины маршрута.

В связи с установлением заметной зависимости скорости, с которой достигается оптимум (минимальный маршрут), от значения, предварительно рассчитываемой длины маршрута в методе поуровневых исключений для оптимизации перемещений инструмента на оборудовании с ЧПУ [1] появилась необходимость в применении иного подхода для приближенного определения маршрута перемещения. Одно из основных требований — получение длины, наиболее близкой минимально возможной. Такой результат нужен для его использования в качестве верхней границы оптимального маршрута. Кроме того, для полноценного тестирования (проверки на близость к оптимуму) потребовалось «отвязать» расчет от покоординатного представления объектов обхода и использовать только таблицу расстояний между объектами [2]. Итак, имеем $\boldsymbol{n}$ объектов обхода со случайным расположением относительно друг друга и таблицу расстояний между объектами обработки.

Базовые процедуры расчета

Шаг 1. Находим 2 наиболее удаленных друг от друга объекта (условно 2 точки). Они определяют некую гипотетическую фигуру — «двойной отрезок», которая соответствует пути туда и обратно между данными объектами.

Шаг 2. Каждую из оставшихся $\boldsymbol{n-2}$ точек автономно присоединяем к каждой из сторон маршрута из шага 1. Назовем это встраиванием на **уровне 0**. В результате получаем $\boldsymbol{(n-2)\cdot 2}$ новых замкнутых маршрутов обхода. Каждый в виде треугольника. Правда, в силу симметричности матрицы расстояний, реально имеем только $\boldsymbol{(n-2)}$ разных треугольников, но для общности можно рассматривать и одинаковые.

Шаг 3. Для каждой из $\boldsymbol{n-3}$ оставшихся точек (свой набор для любого конкретного треугольника из предшествующего шага) определяем в каждом треугольнике ту его сторону, «встраивание» в которую одной из этих $\boldsymbol{n-3}$ точек обеспечит минимальное приращение длины каждого из текущих маршрутов (т. е. перехода от треугольника к четырехугольнику). Среди полученных для каждой из $\boldsymbol{n-3}$ точек величин минимальных приращений (для каждого треугольника) находим максимальную величину и используем соответствующие ей точку и сторону (соседние вершины стороны) треугольника для реального встраивания в каждый треугольный маршрут. В результате имеем $\boldsymbol{(n-2)\cdot 2}$ четырехугольных маршрутов.

Шаг 4. Для каждой из $\boldsymbol{n-4}$ оставшихся точек определяем в каждом из четырехугольных маршрутов, полученных в конце шага 3, ту его сторону, «встраивание» в которую одной из этих $\boldsymbol{n-4}$ точек обеспечит минимальное приращение длины каждого из текущих маршрутов (т. е. перехода от четырехугольника к пятиугольнику). Среди полученных для каждой из $\boldsymbol{n-4}$ точек величин минимальных приращений (для каждого четырехугольника) находим максимальную величину и используем соответствующие ей точку и сторону (соседние вершины стороны) четырехугольника для реального встраивания в каждый четырехугольный маршрут. В результате имеем $\boldsymbol{(n-2)\cdot 2}$ пятиугольных маршрутов.

То есть фактически повторяются действия с начала предыдущего шага для объектов, порожденных в конце предыдущего шага. И дальше продолжаем повторять эти действия, пока не останется не встроенных в маршрут точек и не будут получены $\boldsymbol{(n-2)\cdot 2}$ искомых варианта «*n*-угольных» маршрутов обхода исходных объектов.

Шаг *N*. Поставим в соответствие и зафиксируем для каждого из полных «n-угольных» маршрутов его длину, а также точку первого встраивания и соответствующую сторону (шаг 2 на **уровне 0**). Сгруппируем эти данные (длина маршрута, точка и сторона первого включения). Назначим индексы **уровня** по мере увеличения длины маршрута. Начинаем с нулевого индекса (представляющего минимальную длину). Те из вариантов, представляющих **уровень $\mathbf{0_0}$** (которые обеспечивают минимальную длину обхода), могут оказаться как оптимальными, так и допускающими дальнейшее улучшение.

Выявление неулучшаемого варианта уже на этом этапе можно проиллюстрировать расчетом по тесту для 23 городов Великобритании [3]. Здесь и далее будем иллюстрировать наш материал тестовыми примерами данного ресурса Интернет, созданного лабораторией Lmatrix, которая занимается оптимизацией транспортных задач. На данном ресурсе приведены более двух десятков примеров с решениями задачи коммивояжера. Для каждого примера приведены таблицы расстояний между объ-

ектами и определены минимальные маршруты. На рис. 1 представлен минимальный маршрут обхода по версии данного первоисточника. Длина маршрута составляет 1 927 км.

Реализуем процедуру нашего расчета для данного примера.

Шаг 1. Два наиболее удаленных друг от друга объекта — это ***Абердин*** *и* ***Плимут****.*

*Шаг 2 — шаг 23. Получаем 21 вариант обхода, производных от базовых «треугольных» маршрутов вида «****Абердин — Плимут — один из оставшихся городов****». Два маршрута, построенные от «треугольников» «****Абердин — Плимут — Ливерпуль****» и «****Абердин — Плимут — Манчестер****», имеют наименьшую среди всех длину, равную 1 920 км. Результат меньше чем в первоисточнике на 7 км. Кроме того, несмотря на изначально разную последовательность встраивания объектов, построенные маршруты совпадают (на рис. 2 итоговый маршрут выделен утолщенными отрезками).*

Продолжим наши построения и перейдем к возможным вариантам улучшения (дальнейшей минимизации) маршрута.

Шаг 1А. Определяем в качестве стартового маршрута для преобразований фигуру в виде «треугольника», которая соответствует встраиванию **уровня 0_0** (определённая на шаге *N* точка встраивания и сторона).

Шаг 2А. Каждую из оставшихся $n - 3$ точек автономно присоединяем к маршруту из шага 1А. Назовем это встраиванием на **уровне 1**.

В результате получаем $(n - 3) \cdot 3$ новых замкнутых маршрутов обхода (каждый в виде четырехугольника).

Шаг 3А. Для каждой из $n - 4$ оставшихся точек определяем в каждом четырехугольнике ту его сторону, «встраивание» в которую одной из этих $n - 4$ точек обеспечит минимальное приращение длины каждого из текущих маршрутов (т. е. перехода от четырехугольника к пятиугольнику). Среди полученных для каждой из $n - 4$ точек величин минимальных приращений (для каждого четырехугольника) находим максимальную величину и используем соответствующие ей точку и сторону (соседние вершины стороны) четырехугольника для реального встраивания в каждый четырехугольный маршрут. В результате имеем $(n - 3) \cdot 3$ пятиугольных маршрутов.

Шаг 4А. Для каждой из $n - 5$ оставшихся точек определяем в каждом из пятиугольных маршрутов,

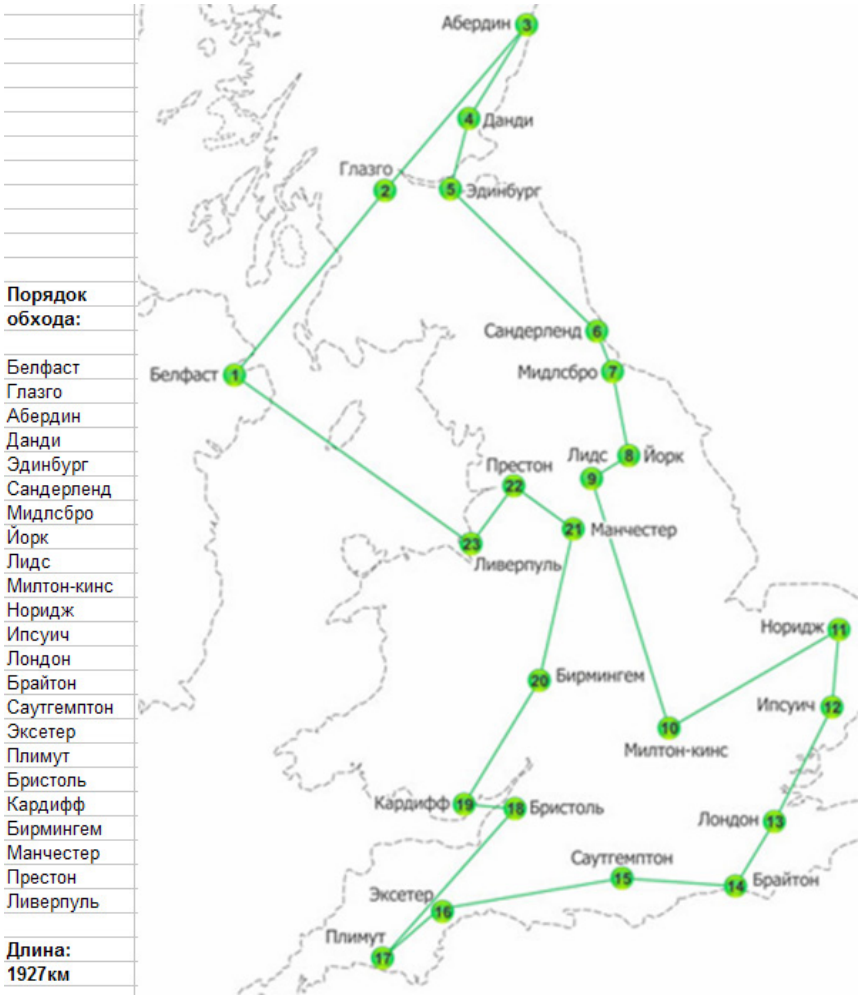


Рис. 1. Маршрут обхода по версии первоисточника длиной 1 927 км

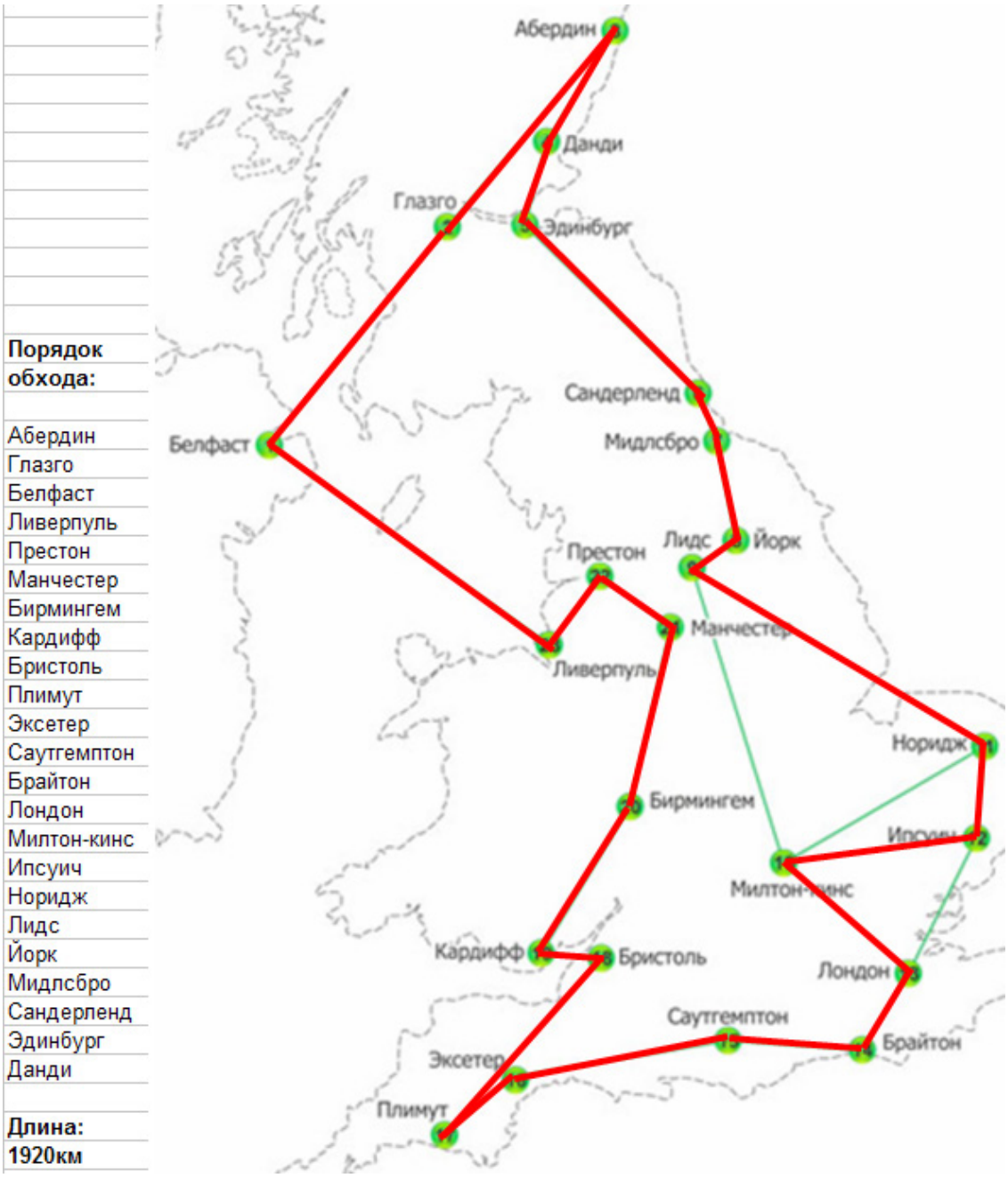


Рис. 2. Маршрут обхода по схеме шаг 1 — шаг N длиной 1 920 км

полученных в конце шага 3А, ту его сторону, «встраивание» в которую одной из этих $\boldsymbol{n} - \mathbf{5}$ точек обеспечит минимальное приращение длины каждого из текущих маршрутов (т. е. перехода от пятиугольника к шестиугольнику). Среди полученных для каждой из $\boldsymbol{n} - \mathbf{5}$ точек величин минимальных приращений (для каждого пятиугольника) находим максимальную величину и используем соответствующие ей точку и сторону (соседние вершины стороны) пятиугольника для реального встраивания в каждый пятиугольный маршрут. В результате имеем $(\boldsymbol{n} - \mathbf{3}) \cdot \mathbf{3}$ шестиугольных маршрутов.

То есть фактически повторяются действия предыдущего шага для объектов, порожденных в конце предыдущего шага. И дальше продолжаем повторять эти действия, пока не получим $(\boldsymbol{n} - \mathbf{3}) \cdot \mathbf{3}$ искомых варианта «*n*-угольных» маршрутов обхода исходных объектов.

Шаг NA. Поставим в соответствие и зафиксируем для каждого из полных маршрутов его длину, а также точку первого встраивания и соответствующую сторону (шаг 2А на **уровне 1**). Сгруппируем эти пары (точка и сторона включения) в соответствии с длиной представляемого маршрута. Назначим индексы **уровня** по мере увеличения длины маршрута. Начинаем с нулевого индекса (представляющего минимальную длину). Те из вариантов, представляющих **уровень** $\mathbf{1_0}$ (которые обеспечивают минимальную длину обхода), могут оказаться как оптимальными, так и допускающими дальнейшее улучшение.

Продолжаем процесс. Последующие шаги **1B–NB**, **1C–NC** и другие отличаются только стартовым маршрутом первого шага. Так, для **1B** это фигура типа «четырехугольник», которая соответствует встраиванию **уровня 1_0**, их количество **$(n - 4) \cdot 4$.** Для шага **1C** это фигура типа «пятиугольник», которая соответствует встраиванию **уровня 2_0**, их количество **$(n - 5) \cdot 5$.**

Выявление неулучшаемого варианта на стадии завершения шагов 1C–NC можно проиллюстрировать расчетом по тесту (рис. 3) для 23 городов Золотого кольца [3].

Шаг 1. Два наиболее удаленных друг от друга объекта — это ***Калязин*** *и* ***Гороховец****.*

*Шаг 2 — шаг 23. Получаем 21 вариант обхода, производных от базовых «треугольных» маршрутов вида «****Калязин — Гороховец — один из оставшихся городов****». Маршрут, построенный от «треугольника» «****Калязин — Гороховец — Муром****», имеет наименьшую среди всех длину, равную 1 828 км.*

*Шаг 1A. Определяем в качестве стартового маршрута для преобразований «треугольник» «****Калязин — Гороховец — Муром****», который соответствует встраиванию* ***уровня 0_0*** *, сформированного на шаге 23.*

*Шаг 2A — шаг 23A. Получаем 60 вариантов обхода от базовых «четырехугольных» маршрутов вида «****Калязин — Гороховец — Муром****» и «****Один из оставшихся городов****», где-то между ними. Маршрут, построенный от «четырехугольника» «****Калязин — Гороховец — Муром — Юрьев-Польский****», имеет наименьшую среди всех длину, равную 1 601 км. Это уже меньше заявленной в первоисточнике длины. Тем не менее идем дальше.*

*Шаг 1B. Определяем в качестве стартового маршрута для преобразований «четырехугольник» «****Калязин — Гороховец — Муром — Юрьев-Польский****», который соответствует встраиванию* ***уровня 1_0****.*

*Шаг 2B — шаг 23B. Получаем 76 вариантов обхода от базовых «пятиугольных» маршрутов вида «****Калязин — Гороховец — Муром — Юрьев-Польский****» и «****Один из оставшихся городов****», где-то между ними. Уже несколько маршрутов, построенных от базовых «пятиугольников», имеют наименьшую среди всех длину, по-прежнему равную 1 601 км. Тем не менее продолжим идти дальше.*

*Шаг 1C. Определяем в качестве стартовых маршрутов для преобразований «пятиугольники» «****Калязин — Гороховец — Муром — Юрьев-Польский — i-й город****», где* ***i-й город*** *один из следующих: Александров, Москва, Переславль-Залесский, Сергиев Посад, а также «пятиугольники» «****Калязин — i-й город — Гороховец — Муром — Юрьев-Польский****», где* ***i-й город*** *один из следующих: Иваново, Кострома, Палех, Плес, Ростов Великий, Рыбинск, Шуя, а также «пятиугольники» «****Калязин — Гороховец — Муром — i-й город — Юрьев-Польский****», где* ***i-й город*** *один из следующих: Боголюбово, Владимир, Кидекша. Все эти 14 стартовых маршрутов соответствуют встраиванию* ***уровня 2_0*** *шага 23B.*

Рис. 3. Маршрут обхода по версии первоисточника длиной 1 643 км

*Шаг 2C — шаг 23C. Получаем 90 вариантов построения маршрутов, производных от базовых «шестиугольных». Часть из них приводят к получению маршрута (рис. 4) с наименьшей среди других длиной, равной 1 599 км (маршрут на рисунке отмечен утолщенными соединительными линиями). Можно заметить, что эти варианты построены от блока стартовых маршрутов «****Калязин — Гороховец — Муром — Юрьев-Польский — i-й город****», где* ***i-й город*** *один из следующих: Александров, Москва, Переславль-Залесский, Сергиев Посад. Любой из этих четырех стартовых вариантов приводит к получению маршрута с длиной, равной 1 599 км (рис. 4).*

Последующие построения уже не улучшат найденный маршрут, а приведут разве лишь к дальнейшему расширению количества вариантов его построения.

Рис. 4. Маршрут обхода, полученный по схеме шаг 1 — шаг NC, длиной 1 599 км

Варианты построения алгоритма

Вариант 1. Не обязательно, что цепочка описанных шагов приведет к наилучшему маршруту, как это произошло в рассмотренных примерах. Воспользуемся введенными ранее понятиями уровня и индекса уровня для краткой записи процесса построения в рассмотренных примерах. В первом примере (см. рис. 2) параметры **уровня 0_0** (встраиваемый объект к соответствующей стороне, последующая внутренняя цепочка построений вариантов полных маршрутов и лучшая длина маршрута на уровне) — **уровень 0_0 :** ***Муром*** *между* ***Гороховец — Калязин****, длина 1828 км* — определяются в процессе шаг 1 — шаг 23 и выводят на минимальное решение.

Этого фактически «жадного» алгоритма построения оказывается в данном случае достаточно. Во втором примере (см. рис. 4) весь процесс получения минимального результата можно описать следующим образом:

уровень 0_0: ***Муром*** *между* ***Гороховец — Калязин****, длина 1 828 км;*

уровень 1_0: ***Юрьев-Польский*** *между* ***Калязин — Муром****, длина 1 601 км;*

уровень 2_0: ***Александров*** *между* ***Калязин — Юрьев-Польский****, длина 1601 км;*

уровень 3_0: ***Переславль-Залесский*** *между* ***Калязин — Александров****, длина 1 599 км.*

Здесь уровни $\mathbf{2_0}$ и $\mathbf{3_0}$ представлены одним из нескольких потенциальных включений, ведущих к минимуму уровня.

Возможность получения минимального результата по данной схеме ***со всеми нулевыми индексами*** (**уровни: $0_0 - 1_0 - 2_0$** — и т. д.) зависит больше от особенностей взаимного расположения объектов обхода, чем от количества самих объектов. Так, в завершающем примере из [2] для **57** объектов обхода минимальный тестовый результат достигается на уровне $\mathbf{5_0}$ (по уточненному расчету, соответствующему схеме: **уровни: $0_0 - 1_0 - 2_0 - 3_0 - 4_0 - 5_0$**). Что можно сравнить с самым первым примером из [2] (где всего лишь **8** объектов обхода). В нём использование той же схемы с нулевыми индексами (кстати, здесь уровень $\mathbf{5_0}$ естественным образом является последним из возможных уровней) приводит к получению не минимального маршрута, а лишь самого ближайшего к нему.

Для избавления от зависимости, связанной с особенностями взаимного расположения объектов и влияющей на достижение минимального маршрута, в [2] предложено использовать вариации на ранних уровнях построений маршрутов.

В частности, как вариант предложено проводить расчеты от нулевого уровня для всех объектов включения (или части объектов с младшими индексами), а не только для объектов соответствующих индексу ноль (т. е. в общем случае не только для $\mathbf{0_0}$, а для всех $\mathbf{0_i}$, где $i = 0, 1, 2, \ldots$). При этом индексы последующих уровней остаются нулевыми. То есть речь уже может идти о **«жадно-переборном»** алгоритме.

Проверка его достаточности для достижения известного минимального маршрута или заявленного таковым по всем тестам из [2; 3] (заданным как координатами, так и таблицей расстояний) дала следующие результаты. Действительно во всех без исключения тестах достигнуты (часто лишь при расчётах только по младшим значениям индекса ***i*** схемы — **уровни: $0_i - 1_0 - 2_0$** – и т. д., где $i = 0, 1, 2, \ldots$) указанные контрольные значения, а в отдельных примерах они даже улучшены. При этом самое «глубокое погружение» при достижении результата не превысило уровня $\mathbf{6_0}$ (при размерности примеров, не превышающей шести десятков объектов).

На практике (при проведении расчетов для данных тестов) не пришлось «перебирать» все индексы нулевого уровня в силу того, что контрольный результат известен заранее. Поэтому, при достижении его на каком-то из ***i-х*** путей, расчет обычно останавливался. Отметим, что в реальности, как правило, сразу несколько из ***i-х*** путей ведут к одному и тому же минимальному маршруту.

Вариант 2. В некоторых случаях более удобным вариантом определения минимального маршрута может оказаться реализация следующей схемы расчета — **уровни: $(0 - 1)_0 - 2_0 - 3_0$** – и т. д.

Здесь совмещенный **уровень $(0 — 1)_0$** представляют совмещенные шаги 2 и 3:

Шаг (2–3). Каждую из оставшихся (после первого шага) $\boldsymbol{n - 2}$ точек автономно присоединяем к маршруту из шага 1. В результате получаем $\boldsymbol{(n - 2)}$ новых замкнутых «треугольных» маршрутов обхода (исключили сдвоенные в силу симметрии). Каждую из оставшихся вне своего треугольника точку (всего $\boldsymbol{n - 3}$ точек) автономно присоединяем к каждой из сторон каждого «не своего треугольника». Назовем это встраиванием на «сдвоенном уровне» — **уровне (0 – 1)**. В результате получаем $\boldsymbol{(n - 2) \cdot (n - 3) \cdot 3}$ новых замкнутых маршрутов обхода (каждый в виде четырехугольника).

Следующий **шаг 4** полностью соответствует шагу 4 предыдущего варианта построения (только теперь обрабатывается гораздо большее количество начальных четырехугольных маршрутов). Это же касается и последующих шагов уровня.

Реализация данного варианта позволила, например, повторно улучшить результат тестового маршрута для 44 городов Татарстана, длина которого в первоисточнике [3] определена величиной 2 564 км. Расчет данного примера, выполненный в [2] по усеченному ***варианту 1*** *(до первого улучшения или до совпадения с заявленным), привел к результату 2 520 км через уровни [2]:*

уровень 0_3: ***Базар. Матаки*** *между* ***Дрожжаное — Актаныш****, длина 2 754 км;*

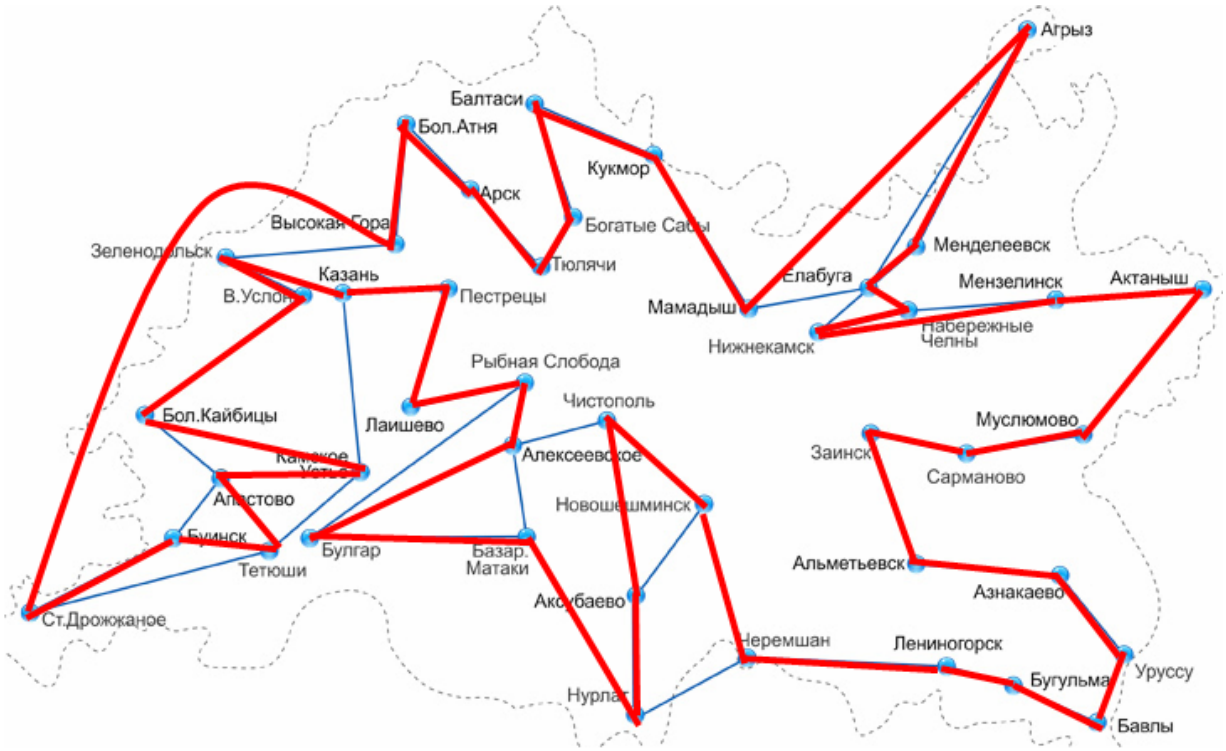


Рис. 5. Маршрут обхода, полученный по варианту 2, длиной 2 518 км

уровень 1_0: ***Альметьевск*** *между* ***Актаныш — Базар.Матаки****, длина 2 638 км;*

уровень 2_0: ***Высокая Гора*** *между* ***Дрожжаное — Актаныш****, длина 2 596 км;*

уровень 3_0: ***Б. Атня*** *между* ***Актаныш — Высокая Гора****, длина 2 540 км;*

уровень 4_0: *отсюда и ниже процесс ведет к маршруту длиной 2 520 км.*

Порядок данного встраивания можно отследить по рис. 5.

Расчет этого же примера, выполненный по ***варианту 2*** *привел к еще меньшему результату — длине маршрута 2 518 км (рис. 5) с тем же числом прохождения уровней через следующую схему движения по ним:*

уровень $(0-1)_0$: ***Дрожжаное — Б. Атня — Актаныш — Муслюмово — Дрожжаное****, длина 2 594 км;*

уровень 2_0: ***Высокая Гора*** *между* ***Дрожжаное — Б. Атня****, длина 2 590 км;*

уровень 3_0: ***Бавлы*** *между* ***Дрожжаное — Муслюмово****, длина 2 566 км;*

уровень 4_0 : *отсюда и ниже процесс ведет к маршруту длиной 2518 км (справочно:* ***Базар. Матаки*** *между* ***Дрожжаное — Бавлы*** *...).*

Вариант 3. По полной аналогии с вариантом 2 можно реализовать и следующую схему расчета — **уровни: $(0-1-2)_0 - 3_0 - 4_0$** – и т. д.

Здесь совмещенный **уровень $(0-1-2)_0$** будет представлять (аналогично варианту 2) совмещенные шаги 2, 3 и 4. Такой вариант может оказаться полезным (за счет внушительной «переборной» составляющей начального **уровня $(0-1-2)_0$**). Например, для решения задач, в которых уже на ранней стадии генерируется (по варианту 1–2) лучший маршрут начального уровня с расстоянием близким к минимальному. И в этом случае на данном и последующем уровне формируется очень много объектов встраивания, а значит, и множество путей, ведущих к построению данного маршрута. Вариант 3 позволяет уменьшить их общее количество.

Можно, конечно, и далее продолжить наращивание «совмещения уровней», но при этом получим соответствующий значительный рост заведомо «лишних» вычислений. Возможно, в частных случаях может оказаться продуктивным и автономное (непоследовательное) совмещение более глубоких уровней.

Библиографический список

1. Старостин, Н. Д. Усовершенствование и детализация метода поуровневых исключений для оптимизации перемещений инструмента / Н. Д. Старостин // Информационные технологии и системы : тр. Четвертой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 25 февр.— 1 марта 2015 г. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015. С. 33–44.
2. Старостин, Н. Д. Поиск кратчайшего пути. Ускоренная оптимизация перемещений инструмента / Н. Д. Старостин. Saarbrucken : LAP LAMBERT Akademic Publishing, 2015. 89 с.
3. Лаборатория Lmatrix [Электронный ресурс] // Тематические статьи. Решения. URL: http://lmatrix.ru/news/problems. Дата обращения: 05.01.2016.

Сведения об авторе

Старостин Николай Диодорович — кандидат технических наук, доцент Уральского федерального университета, Екатеринбург. nickstar54@gmail.com

---

N. D. Starostin

OPTIONS FOR THE CALCULATION OF THE MINIMUM OF THE PROCESSING ROUTE

Discusses options for building algorithm for the approximate solution of the classical problem of traveling salesman. Objects are defined by coordinates or a table of distances. Testing the algorithm on a set of examples with an arbitrary arrangement of objects showed his extraordinary ability to relatively quickly and precisely to achieve optimal or declared as such the minimum length of the route.

ББК Ж2-5-05
УДК 519.8

Е. Н. Шипачева, А. А. Петунин

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОДНОЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ КУРЬЕРА С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Рассматривается задача минимизации длины холостого хода режущего инструмента при раскрое листовых материалов на машинах с ЧПУ. Данная задача может быть интерпретирована как специальный случай обобщенной задачи курьера с дополнительными ограничениями, обусловленными технологическими особенностями резки. Описывается генетический алгоритм применительно к поставленной задаче. Приводятся результаты исследования параметров алгоритма с целью определения условий эффективного использования алгоритма для решения задач данного типа.

Введение

В различных отраслях промышленности существует потребность в изготовлении заготовок и готовых изделий из листовых материалов. Для резки листовых материалов на производстве широко используют машины термической резки с ЧПУ, позволяющие полностью автоматизировать процесс резки. Работа машин термической резки осуществляется по управляющим программам (УП). Для ускорения проектирования УП применяют различные системы автоматизированного проектирования (САПР).

При создании УП для машин листовой резки с ЧПУ в САПР возникает задача оптимизации пути режущего инструмента [1]. Решение задачи может значительно сократить время и стоимость листовой резки.

При резке листовых материалов обычно используют стандартную технику резки «по замкнутому контуру», при которой для каждого замкнутого контура предусмотрена одна точка врезки и одна точка выключения инструмента. В общем случае для каждого контура может существовать континуальное множество потенциальных точек врезки. Для перехода к дискретной модели оптимизационной задачи будем считать, что каждый контур имеет только конечное число возможных точек врезки и выключения. Также необходимо учитывать условия предшествования, согласно которым контур вырезается только тогда, когда вырезаны все контуры, вложенные в него. Таким образом, задача маршрутизации инструмента может быть интерпретирована как обобщенная задача курьера, где понятие кластеров эквивалентно контурам, которые необходимо вырезать, а понятие городов — потенциальным точкам врезки. При этом допустимые варианты маршрута определяются с учетом дополнительных ограничений (условий предшествования), диктуемых особенностями технологии резки на машинах с ЧПУ [2].

Как известно, данная задача относится к классу *NP*-трудных задач. Для решения таких задач в основном применяют эвристические алгоритмы, которые позволяют найти приближенное решение задачи за приемлемое время. Одним из таких алгоритмов является генетический алгоритм (ГА). Принцип работы алгоритма основан на идеях эволюции живой природы с учетом факторов изменчивости, наследственности и отбора наиболее приспособленных особей. Фактически ГА представляет собой некоторый подход к поиску оптимального решения, а сама вычислительная процедура алгоритма зависит от особенностей реализации данного подхода и выбранных параметров алгоритма.

К достоинствам алгоритма можно отнести [3]:

– анализ и преобразование закодированного множества исходных параметров;

– осуществление поиска из множества альтернативных решений, а не из одного решения;

– использование целевой функции, а не ее различных приращений для оценки качества решений;

– использование детерминированных, вероятностных и комбинированных правил анализа оптимизационных задач.

В статье описан один из вариантов генетического алгоритма, разработанный для решения сформулированной выше специальной задачи курьера с дополнительными ограничениями, приведены результаты влияния параметров реализованного алгоритма на получаемый результат длины маршрута для тестового примера, содержащего 154 вырезаемых замкнутых контура сформулированы направления дальнейших исследований.

1. Содержательная постановка задачи

Содержание рассматриваемой задачи заключается в следующем: необходимо вырезать N контуров таким образом, чтобы суммарный холостой путь режущего инструмента был минимальным. При этом точки врезки для каждого контура, как мы отмечали выше, выбираются из конечного набора потенциально возможных, и точка выключения инструмента после вырезки контура однозначно определяется выбранной точкой врезки.

Исходными данными при решении задачи является полученная ранее раскройная карта, которая представляет собой графический файл, содержащий

информацию о геометрии вырезаемых заготовок и об их расположении на раскраиваемом материале. Пример раскройной карты приведен на рис. 1.

Введем некоторые обозначения. Пусть k^i — число возможных точек врезки (и, соответственно, точек выключения инструмента) в контуре $i(1 \le i \le N)$, $L(i^s; j^t)$ — расстояние между точкой выключения инструмента с номером s для контура i и точкой врезки с номером для контура ($s = 1, \ldots, k^i$; $t = 1, \ldots, k^j$). Тогда длина холостого хода инструмента будет определяться функцией вида

$$L_{off}(R) = L(0, i_1^{s_1}) + \sum_{p=1}^{N-1} L(i_p^{s_p}, i_{p+1}^{s_{p+1}}) + L(i_N, 0), \quad (1)$$

(см., например, [2]). Здесь R — вектор, состоящий из $2N$ элементов:

$$R = (i_1, i_2 \ldots, i_N, s_1, s_2 \ldots, s_N),$$

где s_m — номер выбранной точки врезки для контура i_m $(1 \le s_m \le k^m)$. На последовательность $i_1, i_2, \ldots, i_N$ вектора R действуют следующие ограничения: если i_k — внешний, то все соответствующие внутренние контуры должны предшествовать контуру i_k. Данные условия предшествования обусловлены, как отмечено выше, технологическими особенностями листовой резки, при которой заготовка после вырезания контура, ограничивающего её, теряет неподвижность и не даёт возможность правильно позиционировать инструмент для вырезки внутренних контуров.

В качестве метрики на множестве пар точек на плоскости в рассматриваемой задаче будем использовать эвклидово расстояние.

2. Описание алгоритма

Напомним общую структуру генетического алгоритма:

1) инициализация начальной популяции;
2) выбор родителей из популяции;
3) скрещивание родителей (оператор репродукции);
4) мутация особей текущей популяции;
5) формирование новой популяции (оператор селекции).

Введем основные понятия, применяемые в реализованном генетическом алгоритме: популяция представляет собой определенное количество отдельных индивидов; индивид (вектор R) — некоторое решение задачи (маршрут); хромосома — пара (номер кластера, номер города в кластере), последовательность хромосом определяет маршрут. Целевая функция отражает качество найденного решения и вычисляется по формуле (1).

Параметрами реализованного генетического алгоритма являются: m — мощность популяции, т. е. число входящих в нее индивидов; m_r — доля особей популяции, участвующих в скрещивании; m_d — доля особей популяции, к которым применяется оператор мутации; G — число поколений (число генераций алгоритма).

Описание алгоритма по шагам

1. Формируется начальная популяция, состоящая из допустимых (с учетом условий предшествования) индивидов (маршрутов).

Для создания индивида создается список контуров, доступных для вырезания на каждом шаге (на первом шаге — это контуры, не имеющие вложенных, либо расположенные на самом нижнем уровне вложенности), и из данного списка стохастически выбирается контур. После добавления очередного контура в маршрут список доступных для вырезания контуров актуализируется. Потенциальная точка врезки (город) для каждого контура выбирается случайным образом из списка точек, относящихся к данному контуру.

2. После инициализации начальной популяции осуществляется выбор родителей для дальнейшего синтеза новых решений посредством оператора репродукции.

В реализованном алгоритме используется элитная селекция, т. е. в качестве родителей выбираются m_r лучших (элитных) решений на основе сравнения значений целевой функции [4].

3. Сразу после оператора отбора родителей применяется оператор рекомбинации для получения новых особей-потомков.

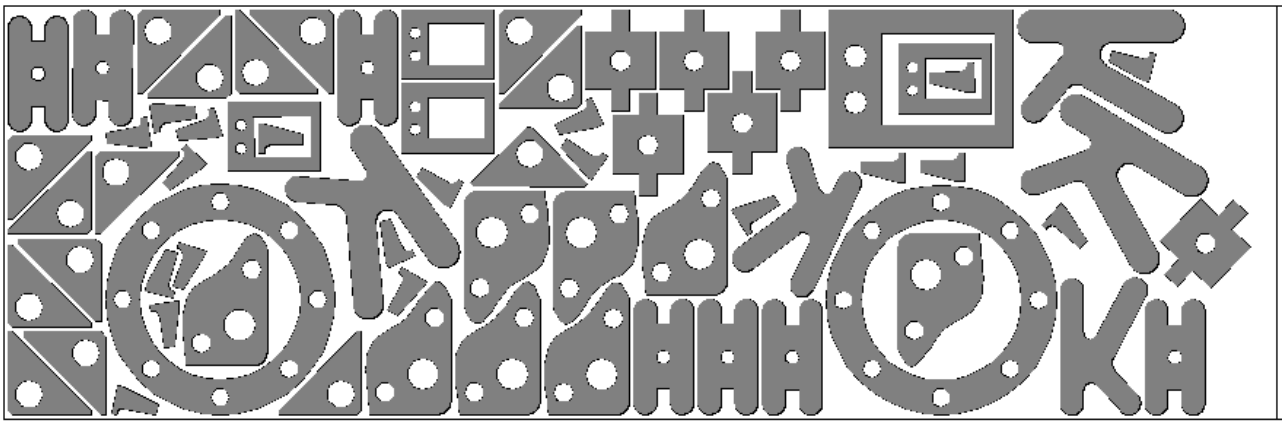


Рис. 1. Пример раскройной карты для тестирования алгоритма

Скрещивание осуществляется по следующему принципу: генерируется случайное число в заданном диапазоне — место разрезания цепочки хромосом родителей (n_k). Первый потомок получается из хромосом первого родителя на позициях от 1 до n_k, а на позициях от $n_k + 1$ до N из генов второго, не добавленных ранее, следующих в той же очередности, что и у второго родителя. Аналогично формируется второй потомок: на позициях от 1 до n_k состоит из хромосом второго родителя, а на позициях от $n_k + 1$ до N — из хромосом первого родителя. Таким образом, у потомков сохраняются условия предшествования.

4. Применение оператора мутации. Под мутацией понимается изменение в векторе небольшого количества элементов. Суть данного шага заключается в искусственном изменении порядка следования контуров в маршруте. Выбирается m_d особей популяции, для каждой особи генерируется случайное число в заданном диапазоне — номер мутирующей хромосомы. Данная хромосома заменяется на другую в соответствии со списком контуров, доступных для вырезания в данном месте вектора. Следующая за мутируемой хромосомой часть маршрута корректируется, чтобы решение удовлетворяло условиям предшествования.

5. К особям популяции применяется оператор отбора. Выбираются m лучших, в соответствии со значениями целевой функции особей для перехода в следующее поколение.

6. Шаги 2–5 повторяются до тех пор, пока не выполнится критерий остановки работы алгоритма. В данной реализации алгоритма — это достижение заданного количества поколений (параметр G).

3. Вычислительный эксперимент

Для анализа работы предложенного алгоритма проведены экспериментальные исследования.

Эксперименты для анализа параметров алгоритма проводились на тестовом примере, изображенном на рис. 1. Данная раскройная карта получена в САПР «Сириус» [5] и содержит 154 контура.

Потенциальные точки врезки, расположенные вблизи каждого контура в допустимых областях, расставлены в интерактивном режиме (рис. 2) с учетом технологической целесообразности.

Для каждого параметра алгоритма проведена серия экспериментов, построены графики зависимости длины пути режущего инструмента от значения параметра.

Рис. 3 показывает зависимость длины маршрута от числа жизненных циклов (числа итераций G). Заданные параметры алгоритма: $m = 100$, $m_r = 10\%$, $m_r = 5\%$. Из графика видно, что с увеличением числа итераций значения длины маршрута уменьшаются.

Рис. 4 показывает зависимость длины маршрута от размера популяции (m). Заданные параметры алгоритма: $G = 45$, $m_r = 10\%$, $m_d = 10\%$.

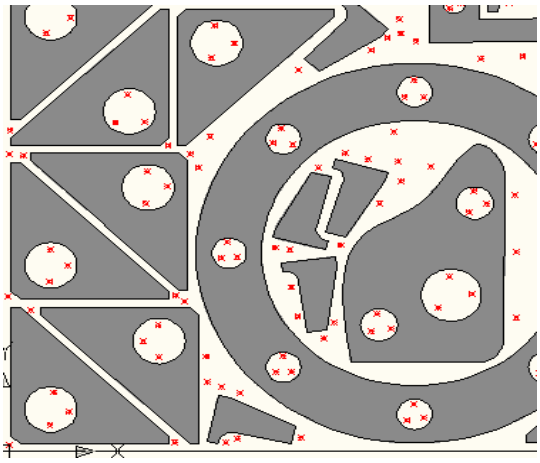


Рис. 2. Пример задания допустимых точек врезки для контуров

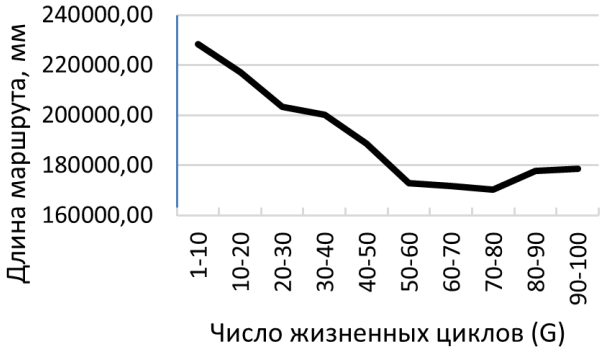


Рис. 3. Зависимость длины маршрута от числа жизненных циклов

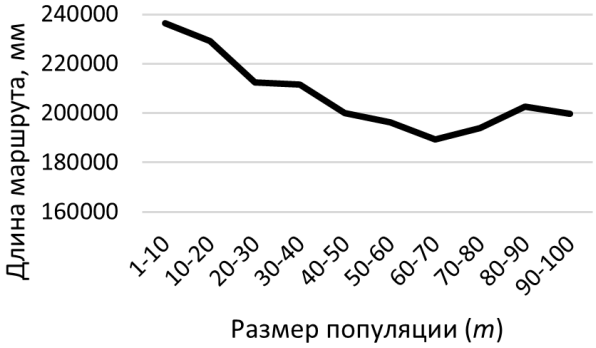


Рис. 4. Зависимость длины маршрута от размера популяции

Рис. 5 показывает зависимость длины маршрута от доли особей популяции, которые участвуют в процессе скрещивания (m_r). Из графика видно, что нет строгой зависимости длины маршрута от значения данного параметра.

Заданные параметры алгоритма: $G = 50$, $m = 50$, $m_d = 10\%$.

Рис. 6 показывает зависимость длины маршрута от доли мутирующих особей (m_d). $G = 50$, $m = 50$, 15%. При увеличении данного параметра наблю-

Рис. 5. Зависимость длины маршрута от количества особей, участвующих в рекомбинации

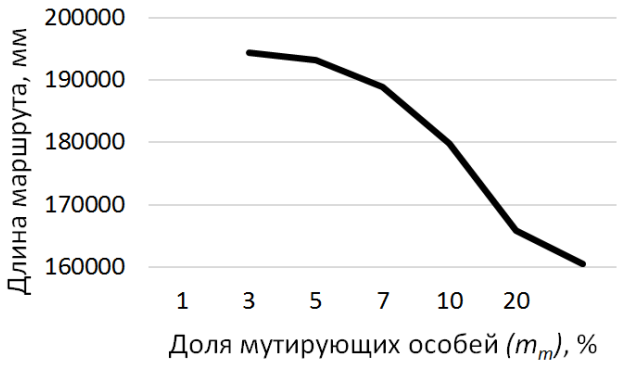


Рис. 6. Зависимость длины маршрута от количества мутирующих особей

дается значительное улучшение целевой функции, но увеличивается время выполнения алгоритма.

Заключение

Основные результаты, полученные в данной работе:

1. Реализован генетический алгоритм решения специальной задачи курьера, к которой можно свести задачу оптимизации длины холостого хода режущего инструмента при раскрое листовых материалов на машинах с ЧПУ.

2. Проведено исследование влияния параметров реализованного алгоритма, таких как число генераций, размер популяции, доля особей популяции, участвующих в скрещивании, доля особей популяции, к которым применяется оператор мутации на результаты работы алгоритма. Получены зависимости длины маршрута от данных параметров. При увеличении числа жизненных циклов значение целевой функции улучшается до некоторого предела, рекомендуемое значение данного параметра — 50–60 итераций, подобная зависимость характерна для параметра *m* (размер популяции), оптимальные значения лежат в диапазоне 60–70. Для параметра, характеризующего долю особей, участвующих в рекомбинации, определённой устойчивой зависимости не получено. Увеличение числа мутирующих особей приводит к существенному улучшению значений целевой функции.

Полученные данные не являются окончательными. Исследования должны быть продолжены в связи с необходимостью проведения большего количества вычислительных экспериментов. Также необходимо модифицировать алгоритм для учета различных технологических требований резки, таких, как правило «жесткости заготовки» и «жесткости материала» [6].

Библиографический список

1. Петунин, А. А. К вопросу о маршрутизации движения инструмента в машинах листовой резки с числовым программным управлением / А. А. Петунин, А. Г. Ченцов, П. А. Ченцов // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Упр. 2013. № 2 (169). С. 103–111.

2. Петунин, А. А. Об одной оптимизационной модели и алгоритме решения задачи маршрутизации инструмента для машин листовой резки с ЧПУ / А. А. Петунин, А. Г. Ченцов, П. А. Ченцов // Информационные технологии и системы (ИТиС – 2013) : тр. Второй Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 27 февр.— 3 марта 2013 г. : науч. электрон. изд. / отв. ред. А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. С. 55–61.

3. Курейчик, В. М. Перспективные информационные технологии на основе методов, инспирированных природными системами / В. М. Курейчик // Онтология проектирования. 2013. № 4 (10). С. 60–71.

4. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы : учеб. пособие для вузов / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик ; под ред. В. М. Курейчика. 2-е изд., испр. и доп. М. : Физматлит, 2006. 319 с.

5. Разработка CAM системы для машин резки листового материала как пример инновации / А. А. Петунин // Инновационные информационные технологии: теория и практика : материалы Междунар. семинара (Карлсруэ — Уфа — Дрезден, 8–13 апр. 2011 г.). Уфа, 2011. С. 47–50. (На англ. яз.).

6. О некоторых стратегиях формирования маршрута инструмента при разработке управляющих программ для машин термической резки материала / А. А. Петунин // Вестн. УГАТУ. Сер.: Упр., вычислит. техника и информатика. 2009. Т. 13, № 2 (35). С. 280–286.

Сведения об авторах

Шипачева Екатерина Николаевна — аспирант Уральского федерального университета, Екатеринбург e.n.shipacheva@gmail.com

Петунин Александр Александрович — доктор технических наук, профессор Уральского федерального университета, Екатеринбург. a.a.petunin@urfu.ru

E. N. Shipacheva, A. A. Petunin

ABOUT USE OF GENETIC ALGORITHM FOR THE SOLUTION OF ONE SPECIAL GENERALIZED TRAVEL SALESMAN PROBLEM WITH ADDITIONAL CONSTRAINTS

The problem of minimization of the idle tool path at a cutting of the sheet material by CNC cutting machines is consider. This problem can be interpreted as an special case of the generalized travel salesman problem with the additional constraints caused by technological features of the cutting process. The corresponding genetic algorithm is described. Results of investigation of algorithm parameters for the purpose of the searching of conditions of effective use of algorithm for this kind of problem are given.

ББК О9в635
УДК 629.76

А. Ф. Шориков, В. В. Булаев

ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СТАБИЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 15-01-02368

Подробно изложен процесс формирования дискретной динамической модели ракеты-носителя (РН) в рекуррентной форме Коши для решения задачи стабилизации ее движения. Описываются примеры ограничений на фазовый вектор РН, вектор управляющих воздействий и вектор возмущающих воздействий, приводится классификация характерных участков полета РН. Приводятся пример численного моделирования возмущенного движения перспективной РН «Союз-5.1» и сравнительный анализ траекторий, сформированных по непрерывной и соответствующей дискретной динамическим моделям.

Введение

Определяющую роль при синтезе алгоритмов стабилизации РН играет математическая модель динамики ее движения. Поскольку траектория полета и основные параметры движения РН определяются на этапе баллистического расчета и принимаются как допустимые, для решения задачи стабилизации движения удобно использовать модель движения РН, линеаризованную вдоль опорной траектории. Такой подход обладает важным преимуществом — задача стабилизации движения решается для линейной динамической системы; но и имеет существенный недостаток — необходимо вводить ограничения на параметры состояния объекта, в пределах которых линеаризация допустима. Как правило, эти ограничения формируются исходя из требований технического задания на проектирование автомата стабилизации.

В данной работе, на основе заданной непрерывной динамической модели динамики РН, предлагается алгоритм формирования соответствующей дискретной динамической модели РН в рекуррентной форме Коши для решения, например, задачи стабилизации ее движения. В статье приводятся результаты численного эксперимента, подтверждающие достаточную адекватность непрерывной и дискретной моделей динамики РН. Работа основывается на исследованиях [1–6].

Поскольку на сегодняшний день все РН оснащаются бортовым цифровым вычислительным комплексом (БЦВК), а также датчики, измеряющие параметры движения, имеют цифровой выход, упрощающий обмен между блоками БЦВК, то более естественным является рассматривать модель движения РН в виде системы рекуррентных разностных уравнений, иначе говоря, рассматривать дискретную модель движения, соответствующую исходной, описываемой системой дифференциальных уравнений. Это позволит рассматривать весь контур системы стабилизации движения РН с единым шагом дискретизации по времени.

Обычно, линеаризованная вдоль опорной траектории модель движения ракеты известна из исходных данных на проектирование системы стабилизации и задается в виде системы обыкновенных линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. Такая модель движения носит название модели возмущенного движения.

1. Математическая модель динамики РН

Модель возмущенного движения РН можно привести к виду линейной непрерывной нестационарной динамической системы в векторно-матричной форме Коши

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}(t)\mathbf{u}(t) + \mathbf{H}(t)\boldsymbol{\omega}(t),$$
$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{D}(t)\mathbf{u}(t) + \boldsymbol{\nu}(t), \qquad (1)$$

где $\mathbf{x}$ — вектор состояния, $\mathbf{x} \in \mathbf{R}^n$; $\mathbf{u}$ — вектор управляющих воздействий, $\mathbf{u} \in \mathbf{R}^r$; $\boldsymbol{\omega}$ — вектор возмущающих воздействий, $\boldsymbol{\omega} \in \mathbf{R}^l$; $\mathbf{y}$ — выходной вектор системы, $\mathbf{y} \in \mathbf{R}^m$; $\mathbf{v}$ — вектор ошибок измерений, $\mathbf{v} \in \mathbf{R}^m$; $\mathbf{A}$ — матрица состояния системы, $\mathbf{A} \in \mathbf{R}^{n\times n}$; $\mathbf{B}$ — матрица управления, $\mathbf{B} \in \mathbf{R}^{n\times r}$; $\mathbf{H}$ — матрица возмущений, $\mathbf{H} \in \mathbf{R}^{n\times l}$; $\mathbf{C}$ — матрица выхода системы, $\mathbf{C} \in \mathbf{R}^{m\times n}$; $\mathbf{D}$ — матрица обхода системы, $\mathbf{D} \in \mathbf{R}^{m\times r}$; t — время, $t \in [t_0, t_f]$.

Поставим системе (1) в соответствие дискретную динамическую систему вида

$$\mathbf{x}_{k+1} = \boldsymbol{\Phi}(k+1,k)\mathbf{x}_k + \boldsymbol{\Psi}(k+1,k)\mathbf{u}_k +$$
$$+ \boldsymbol{\Gamma}(k+1,k)\boldsymbol{\omega}_k,$$
$$\mathbf{y}_k = \mathbf{C}_k\mathbf{x}_k + \mathbf{D}_k\mathbf{u}_k + \boldsymbol{\nu}_k, \qquad (2)$$

здесь $\boldsymbol{\Phi}(k+1,k)$ — переходная матрица состояния системы, $\boldsymbol{\Phi}(\cdot) \in \mathbb{R}^{n\times n}$; $\boldsymbol{\Psi}(\cdot) \in \mathbb{R}^{n\times r}$ — переходная матрица управления, $\boldsymbol{\Psi}(\cdot) \in \mathbb{R}^{n\times r}$; $\boldsymbol{\Gamma}(k+1,k)$ — переходная матрица возмущений, $\boldsymbol{\Gamma}(\cdot) \in \mathbb{R}^{n\times l}$; k — шаг дискретной системы, $k = 0,1, ..., N-1$.

Связь между величинами t и k определим как: $t_k = kT_0$, T_0 — период дискретизации системы (2).

Как видно из выражений для систем (1) и (2), для проведения дискретизации достаточно рассмотреть лишь уравнение состояния РН — первое уравнение си-

стемы (1), второе же уравнение остается неизменным.

Получим систему (2) из системы (1) в два этапа. На первом этапе рассмотрим дискретизацию свободного движения системы, а на втором этапе — вынужденного движения системы.

2. Дискретизация свободного движения

Рассмотрим модель свободного движения системы (1) в виде

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t). \tag{3}$$

Как известно [2], решение уравнения (3) можно записать следующим образом:

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{\Phi}(t, t_0)\mathbf{x}(t_0)\ \forall t \in [t_0, t_f], \tag{4}$$

где $\mathbf{\Phi}(t, t_0)$ — переходная матрица состояния системы; $\mathbf{x}(t_0)$ — начальное состояние системы (1).

Очевидно, что, определив решение (4), мы можем располагать значениями вектора состояния для любого момента времени $t \in [t_0, t_f]$. Так, выражение для вектора состояния в момент времени $t = t_{k+1}$ определяется по формуле

$$\mathbf{x}(t_{k+1}) = \mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{\Phi}(t_{k+1}, t_0)\mathbf{x}(t_0) =$$

$$= \mathbf{\Phi}(t_{k+1}, t_k)\mathbf{x}_k.$$

Таким образом, остается только определить значения матрицы $\mathbf{\Phi}(t_{k+1}, t_k)$ на каждом шаге $k = 0,1, ..., N - 1$. Известно, что для переходной матрицы состояния системы вида $\mathbf{\Phi}(t, \tau)$ при фиксированном значении τ справедливо следующее описание:

$$\frac{\partial \mathbf{\Phi}(t,\tau)}{\partial t} = \mathbf{A}(t)\mathbf{\Phi}(t,\tau)\ \forall t, \tau \in [t_0, t_f].$$

Отсюда следует, что искомую матрицу $\mathbf{\Phi}(t_{k+1}, t_k)$ можно получить, решая матричное дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial \mathbf{\Phi}(t, t_k)}{\partial t} = \mathbf{A}(t)\mathbf{\Phi}(t, t_k) \tag{5}$$

на промежутке $t \in [t_k, t_{k+1}]$ с начальным условием $\mathbf{\Phi}(t_k, t_k) = \mathbf{I}$, где $\mathbf{I}$ — единичная матрица соответствующей размерности.

Прямое решение матричного дифференциального уравнения (5), например, в программном пакете MATLAB, вызывает значительные затруднения, поскольку функции численного интегрирования систем обыкновенных дифференциальных уравнений (такие как ode23, ode45 и пр.) позволяют произвести решение только для систем дифференциальных уравнений первого порядка, записанных в явной форме Коши: $\dot{\mathbf{x}} = f(t, \mathbf{x})$. Поэтому удобно привести систему (5) к явной форме Коши следующим образом: представим переходную матрицу состояния $\mathbf{\Phi}(t, t_k)$ в виде

$$\mathbf{\Phi}(t, t_k) = \begin{bmatrix} \varphi_{11}(t) & \varphi_{12}(t) & \cdots & \varphi_{1n}(t) \\ \varphi_{21}(t) & \varphi_{22}(t) & \cdots & \varphi_{2n}(t) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi_{n1}(t) & \varphi_{n2}(t) & \cdots & \varphi_{nn}(t) \end{bmatrix}.$$

Введем в рассмотрение вектор $\boldsymbol{\xi}$, составленный из столбцов матрицы $\mathbf{\Phi}(t, t_k)$, записанных один под другим:

$$\boldsymbol{\xi}(t) = \begin{bmatrix} \varphi_{11}(t) \\ \varphi_{21}(t) \\ \vdots \\ \varphi_{n1}(t) \\ \varphi_{12}(t) \\ \vdots \\ \varphi_{nn}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \xi_1(t) \\ \xi_2(t) \\ \vdots \\ \xi_n(t) \\ \xi_{n+1}(t) \\ \vdots \\ \xi_{n^2}(t) \end{bmatrix}, \boldsymbol{\xi}(t) \in \mathbb{R}^{n^2}.$$

Тогда матричному дифференциальному уравнению (5) будет эквивалентно векторно-матричное дифференциальное уравнение в явной форме Коши

$$\dot{\boldsymbol{\xi}}(t) = \mathbf{\Theta}(t)\boldsymbol{\xi}(t), \tag{6}$$

где $\mathbf{\Theta}(t)$ — матрица, составленная путем повторения n раз вдоль главной диагонали матрицы $\mathbf{A}(t)$,

$$\mathbf{\Theta}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{A}(t) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \mathbf{A}(t) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \mathbf{A}(t) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{\Theta}(t) \in \mathbb{R}^{n^2 \times n^2}.$$

Выполнив численное интегрирование уравнения (6) на интервале времени $t \in [t_k, t_{k+1}]$, искомую матрицу $\mathbf{\Phi}(t_{k+1}, t_k)$ можно получить из вектора $\boldsymbol{\xi}$ как

$$\mathbf{\Phi}(t_{k+1}, t_k) = \mathbf{\Phi}(k+1, k) =$$

$$= \begin{bmatrix} \xi_1(t_{k+1}) & \xi_{n+1}(t_{k+1}) & \cdots & \xi_{n(n-1)+1}(t_{k+1}) \\ \xi_2(t_{k+1}) & \xi_{n+2}(t_{k+1}) & \cdots & \xi_{n(n-1)+2}(t_{k+1}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \xi_n(t_{k+1}) & \xi_{2n}(t_{k+1}) & \cdots & \xi_{n^2}(t_{k+1}) \end{bmatrix}.$$

Таким образом, интегрируя выражение (6) для каждого шага k, определяем переходную матрицу состояния $\mathbf{\Phi}(k+1, k)$, а значит, имеем математическое описание дискретизированного свободного движения исходной системы (1) на всем промежутке времени $t \in [t_0, t_f]$.

3. Дискретизация вынужденного движения

Согласно формуле Коши, вынужденное движение представляет собой частное решение $\mathbf{x}^*(t)$ системы обыкновенных дифференциальных уравнений (1), которое можно представить в виде

$$\mathbf{x}^*(t) = \int_{t_0}^{t} \mathbf{\Phi}(t,\tau)[\mathbf{B}(\tau)\mathbf{u}(\tau) + \mathbf{H}(\tau)\boldsymbol{\omega}(\tau)]d\tau.$$

Рассмотрим промежуток времени $t \in [t_k, t_{k+1}]$ для некоторого шага $k = 0,1, ..., N - 1$; тогда на этом промежутке времени: $\mathbf{u}(t) = \mathbf{u}(t_k) = \text{const}$; $\boldsymbol{\omega}(t) = \boldsymbol{\omega}(t_k) = \text{const}$. Выражение для $\mathbf{x}^*(t_{k+1})$ можно записать в виде

$$\mathbf{x}^*(t_{k+1}) = \mathbf{x}^*_{k+1} =$$

$$= \int_{t_k}^{t_{k+1}} \mathbf{\Phi}(t_{k+1}, \tau)[\mathbf{B}(\tau)\mathbf{u}(t_k) + \mathbf{H}(\tau)\boldsymbol{\omega}(t_k)]d\tau =$$

$$= \left[\int_{t_k}^{t_{k+1}} \mathbf{\Phi}(t_{k+1},\tau)\mathbf{B}(\tau)d\tau\right]\mathbf{u}(t_k) +$$
$$+ \left[\int_{t_k}^{t_{k+1}} \mathbf{\Phi}(t_{k+1},\tau)\mathbf{H}(\tau)d\tau\right]\boldsymbol{\omega}(t_k) =$$
$$= \mathbf{\Psi}(k+1,k)\mathbf{u}_k + \mathbf{\Gamma}(k+1,k)\boldsymbol{\omega}_k. \qquad (7)$$

Далее рассмотрим только процесс вычисления матрицы $\mathbf{\Psi}(k+1, k)$, поскольку для матрицы $\mathbf{\Gamma}(k+1, k)$ все действия полностью повторяются.

Тогда из (7) следует, что

$$\mathbf{\Psi}(k+1,k) = \int_{t_k}^{t_{k+1}} \mathbf{\Phi}(t_{k+1},\tau)\mathbf{B}(\tau)d\tau. \qquad (8)$$

Заметим, что для вычисления матрицы $\mathbf{\Psi}(k+1, k)$ необходимо иметь переходную матрицу состояния в виде, в котором ее первый аргумент является постоянным, а второй — переменным. Для этого рассмотрим следующее матричное дифференциальное уравнение с фиксированным t

$$\frac{\partial \mathbf{\Phi}(t,\tau)}{\partial \tau} = -\mathbf{\Phi}(t,\tau)\mathbf{A}(\tau)\ \forall t,\tau \in [t_0, t_f].$$

Матрицу $\mathbf{\Phi}(t_{k+1}, \tau)$ для выражения (8) можно получить, решая дифференциальное уравнение

$$\frac{\partial \mathbf{\Phi}(t_{k+1},\tau)}{\partial \tau} = -\mathbf{\Phi}(t_{k+1},\tau)\mathbf{A}(\tau) \qquad (9)$$

в обратном времени на промежутке $\tau \in [t_{k+1}, t_k]$ с начальным условием $\mathbf{\Phi}(t_{k+1}, t_{k+1}) = \mathbf{I}$.

Следуя из тех же соображений, что и в предыдущем пункте, преобразуем уравнение (9) к явной форме Коши. Для этого представим переходную матрицу состояния $\mathbf{\Phi}(t_{k+1}, \tau)$ в виде

$$\mathbf{\Phi}(t_{k+1},\tau) = \begin{bmatrix} \varphi'_{11}(\tau) & \varphi'_{12}(\tau) & \cdots & \varphi'_{1n}(\tau) \\ \varphi'_{21}(\tau) & \varphi'_{22}(\tau) & \cdots & \varphi'_{2n}(\tau) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \varphi'_{n1}(\tau) & \varphi'_{n2}(\tau) & \cdots & \varphi'_{nn}(\tau) \end{bmatrix}.$$

Здесь элементы матрицы $\varphi'_{ij}(\tau)$, $i, j = 1, 2, ..., n$ обозначены со штрихами, чтобы отличать их от похожей записи в предыдущем пункте.

Введем в рассмотрение вектор $\boldsymbol{\eta}$, составленный из строк матрицы $\mathbf{\Phi}(t_{k+1}, \tau)$, записанных одна под другой:

$$\boldsymbol{\eta}^{\mathrm{T}}(\tau) =$$
$$= [\varphi'_{11}(\tau)\ \varphi'_{12}(\tau)\ \cdots\ \varphi'_{1n}(\tau)\ \cdots\ \varphi'_{nn}(\tau)] =$$
$$= [\eta_1(\tau)\ \eta_2(\tau)\ \cdots\ \eta_n(\tau)\ \eta_{n+1}(\tau)\ \cdots\ \eta_{n^2}(\tau)],$$
$$\boldsymbol{\eta}(\tau) \in \mathbb{R}^{n^2}.$$

Тогда матричному дифференциальному уравнению (9) будет эквивалентно векторно-матричное дифференциальное уравнение

$$\dot{\boldsymbol{\eta}}^{\mathrm{T}}(\tau) = -\boldsymbol{\eta}^{\mathrm{T}}(\tau)\mathbf{\Theta}(\tau),$$

матрица $\mathbf{\Theta}(\tau)$ здесь составляется так же, как в предыдущем пункте. Это уравнение можно легко привести к форме Коши, транспонируя обе его части, получая:

$$\dot{\boldsymbol{\eta}}(\tau) = -\mathbf{\Theta}^{\mathrm{T}}(\tau)\boldsymbol{\eta}(\tau). \qquad (10)$$

Так как решение дифференциального уравнения (10) происходит в обратном времени, тогда удобно поменять местами пределы интегрирования в выражении (8)

$$\mathbf{\Psi}(k+1,k) = -\int_{t_{k+1}}^{t_k} \mathbf{\Phi}(t_{k+1},\tau)\mathbf{B}(\tau)d\tau.$$

Рассмотрим матрицу $\mathbf{\Psi}(t_{k+1}, \tau)$:

$$\mathbf{\Psi}(t_{k+1},\tau) = -\int_{t_{k+1}}^{\tau} \mathbf{\Phi}(t_{k+1},\tau)\mathbf{B}(\tau)d\tau. \qquad (11)$$

Введем в рассмотрение вектор $\boldsymbol{\zeta}$, составленный из строк матрицы $\mathbf{\Psi}(t_{k+1}, \tau)$, записанных одна под другой:

$$\boldsymbol{\zeta}^{\mathrm{T}}(\tau) =$$
$$= [\psi_{11}(\tau)\ \psi_{12}(\tau)\ \cdots\ \psi_{1r}(\tau)\ \cdots\ \psi_{nr}(\tau)] =$$
$$= [\zeta_1(\tau)\ \zeta_2(\tau)\ \cdots\ \zeta_r(\tau)\ \cdots\ \zeta_{nr}(\tau)],$$
$$\boldsymbol{\zeta}(\tau) \in \mathbb{R}^{nr}.$$

Тогда выражению (11) можно поставить в соответствие выражение

$$\boldsymbol{\zeta}^{\mathrm{T}}(\tau) = -\int_{t_{k+1}}^{\tau} \boldsymbol{\eta}^{\mathrm{T}}(\tau)\mathbf{\Omega}(\tau)d\tau,$$

где $\mathbf{\Omega}(\tau)$ — матрица, полученная путем повторения n раз вдоль главной диагонали матрицы $\mathbf{B}(t)$:

$$\mathbf{\Omega}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{B}(t) & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \mathbf{B}(t) & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \mathbf{B}(t) \end{bmatrix},$$
$$\mathbf{\Omega}(t) \in \mathbb{R}^{n^2 \times nr}.$$

Дифференцируя по τ и транспонируя обе части последнего уравнения, получим

$$\dot{\boldsymbol{\zeta}}(\tau) = -\mathbf{\Omega}^{\mathrm{T}}(\tau)\boldsymbol{\eta}(\tau). \qquad (12)$$

Объединим выражения (10) и (12) в одну систему уравнений вида

$$\begin{bmatrix} \dot{\boldsymbol{\eta}}(\tau) \\ \dot{\boldsymbol{\zeta}}(\tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\mathbf{\Theta}^{\mathrm{T}}(\tau) \\ -\mathbf{\Omega}^{\mathrm{T}}(\tau) \end{bmatrix}\boldsymbol{\eta}(\tau). \qquad (13)$$

Таким образом, решая (13) в обратном времени на промежутке $\tau \in [t_{k+1}, t_k]$ для каждого шага k с нулевыми начальными условиями для $\boldsymbol{\zeta}(t_{k+1})$ и начальными условиями для $\boldsymbol{\eta}(t_{k+1})$, формируемыми из условия, что $\mathbf{\Phi}(t_{k+1}, t_{k+1})$, искомую матрицу $\mathbf{\Psi}(k+1, k)$ можно получить следующим образом:

$$\mathbf{\Psi}(k+1,k) =$$
$$= \begin{bmatrix} \zeta_1(t_k) & \zeta_2(t_k) & \cdots & \zeta_r(t_k) \\ \zeta_{r+1}(t_k) & \zeta_{r+2}(t_k) & \cdots & \zeta_{2r}(t_k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \zeta_{r(n-1)+1}(t_k) & \zeta_{r(n-1)+2}(t_k) & \cdots & \zeta_{nr}(t_k) \end{bmatrix}.$$

В результате имеем переходную матрицу управления $\mathbf{\Psi}(k+1, k)$ на всем рассматриваемом промежутке времени $t \in [t_0, t_f]$. Аналогичным образом можно получить переходную матрицу возмущений $\mathbf{\Gamma}(k+1, k)$. На основании приведенных выше преобразований и вычислений можно утверждать, что мы сформировали математическую модель системы (1) в дискретном виде (2).

Из вышеприведенных рассуждений можно заключить, что все искомые матрицы $\mathbf{\Phi}(k+1, k)$, $\mathbf{\Psi}(k+1, k)$ и $\mathbf{\Gamma}(k+1, k)$ системы (2) можно получить, решая в обратном времени следующую систему обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\begin{bmatrix} \dot{\boldsymbol{\varphi}}(\tau) \\ \dot{\boldsymbol{\psi}}(\tau) \\ \dot{\boldsymbol{\gamma}}(\tau) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{diag}(-\mathbf{A}^{\mathrm{T}}(\tau), n) \\ \mathrm{diag}(-\mathbf{B}^{\mathrm{T}}(\tau), n) \\ \mathrm{diag}(-\mathbf{H}^{\mathrm{T}}(\tau), n) \end{bmatrix} \boldsymbol{\varphi}(\tau) \qquad (14)$$

на временном интервале $\tau \in [t_{k+1}, t_k]$ для каждого шага k с нулевыми начальными условиями для $\boldsymbol{\psi}(t_{k+1})$ и $\boldsymbol{\gamma}(t_{k+1})$ и начальными условиями для $\boldsymbol{\varphi}(t_{k+1})$, формируемыми из условия, что $\mathbf{\Phi}(t_{k+1}, t_{k+1}) = \mathbf{I}$, где $\boldsymbol{\varphi}(\tau)$, $\boldsymbol{\psi}(\tau)$, $\boldsymbol{\gamma}(\tau)$ — векторы, составленные из строк соответствующих матриц $\mathbf{\Phi}(t_{k+1}, \tau)$, $\mathbf{\Psi}(t_{k+1}, \tau)$, $\mathbf{\Gamma}(t_{k+1}, \tau)$, записанных одна под другой, $\boldsymbol{\varphi}(\tau) \in \mathbf{R}^{n^2}$, $\boldsymbol{\psi}(\tau) \in \mathbf{R}^{nr}$, $\boldsymbol{\gamma}(\tau) \in \mathbf{R}^{nl}$; $\mathrm{diag}(\mathbf{X}, n)$ — обозначена операция дублирования матрицы $\mathbf{X}$ вдоль главной диагонали n раз.

Получить искомые матрицы из векторов $\boldsymbol{\varphi}(\tau)$, $\boldsymbol{\psi}(\tau)$, $\boldsymbol{\gamma}(\tau)$ можно при использовании следующей операции:

$$\mathbf{X} = \\ = \begin{bmatrix} x_1(t_k) & x_2(t_k) & \cdots & x_r(t_k) \\ x_{r+1}(t_k) & x_{r+2}(t_k) & \cdots & x_{2r}(t_k) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{r(n-1)+1}(t_k) & x_{r(n-1)+2}(t_k) & \cdots & x_{nr}(t_k) \end{bmatrix},$$

$\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{n \times r}$.

Заметим, что в ходе решения уравнения (6) в прямом времени и уравнений (14) в обратном времени можно сформировать матрицы $\mathbf{\Phi}(t, t_k)$ — с переменным первым аргументом и $\mathbf{\Phi}(t_{k+1}, \tau)$ — с переменным вторым аргументом. Это дает некоторое преимущество перед другими методами, позволяя свободно производить дискретизацию систем с переменным шагом дискретизации и выполнять вычислительные операции в процессе решения задачи управления.

4. Формирование ограничений для фазового вектора РН, вектора управления и вектора возмущений

Ограничения для фазового вектора РН

Сформируем фазовые ограничения для системы (2), которым должен удовлетворять ее фазовый вектор на протяжении всего процесса управления на рассматриваемом промежутке времени $t \in [t_0, t_f]$, т.е. он должен находиться в заданной области фазового пространства.

При наложении ограничений на фазовый вектор необходимо учитывать, что в процессе движения РН проходит характерные участки полета, для которых формулируются определенные требования, касающиеся условий полета. Отсюда следует, что фазовые ограничения будут изменятся по мере прохождения РН таких участков, т. е. допустимая для полета область фазового пространства будет изменяться в процессе управления движением РН.

Рассмотрим характерные участки полета РН для канала тангажа на примере движения ее первой ступени. При описании ограничений пока что будем иметь в виду только основные параметры движения РН — угол, угловую скорость, линейное перемещение и линейную скорость.

Первый участок полета, на котором происходит пуск РН со стартового стола и выполняется практически вертикальный полет, называют стартовым участком полета. На этом участке выполняется послестартовый поворот ракеты, необходимый для того, чтобы согласовать направление связанных осей ракеты с плоскостью, образуемой программной траекторией полета и ее проекцией на поверхность Земли (так называемой плоскостью стрельбы). На данном участке, как правило, параметры отклонения движения РН от заданной программы не контролируются, однако некоторые желаемые допуски все-таки формулируются, например, на рассогласования по углу и угловой скорости тангажа.

После разворота в плоскость стрельбы РН уже обладает достаточной скоростью для того, чтобы начать отрабатывать полетную программу по тангажу, и этот отрезок полета называется участком начала склонения траектории. Здесь к условиям полета предъявляются жесткие требования, нарушение которых влечет формирование в системе управления признака аварийности полета — отключается двигательная установка, происходит падение РН.

Далее следует отрезок траектории, который характеризуется воздействием максимальных по величине аэродинамических сил и моментов. Этот участок полета РН называется участком максимальных скоростных напоров. Во время прохождения данного участка ограничения на угловые параметры движения ужесточаются, так как от них зависит целостность конструкции ракеты. Отметим, что при этом ограничения на параметры линейного движения, наоборот, ослабляются, потому что в условиях больших аэродинамических перегрузок, с точки зрения системы стабилизации, все внимание акцентируется на угловой стабилизации движения РН.

Наконец, последний участок полета РН — подготовки к разделению ее блоков — характеризуется относительно спокойными условиями полета, который происходит в практически безвоздушном пространстве. Основной задачей системы управления РН на данном участке полета является отработка ошибки

линейных параметров движения, которые накопились на предыдущих участках полета, и подготовить РН к отделению блока первой ступени. Нужно отметить, что рассматриваемый участок полета РН является единственным, на котором ограничения на условия полета линейно сужаются.

Отметим, что существенной проблемой формирования ограничений на фазовый вектор РН является то, что, как правило, никто их не формирует для дополнительных степеней свободы — параметров поперечных упругих колебаний корпуса и колебаний жидкого наполнения баков. Однако это можно осуществить путем опытного исследования, например, посредством моделирования полета РН в различных условиях. Такие ограничения не являются жесткими, но желательны для выполнения. Например, ограничение на величину угла отклонения зеркала жидкости в баках формулируется с точки зрения обеспечения стабильной работы для смежной системы управления расходом топлива для двигателя РН. В этом случае границы таких ограничений принимаются «гибкими» и могут уточняться по ходу проводимых исследований или вовсе не учитываться.

Ограничения на управляющие воздействия

Ограничения, накладываемые на управляющие воздействия (управление РН), формулируются в основном из физических соображений и проведенных испытаний. Для подвижных управляющих органов РН ограничения формируются исходя из того, что диапазон углов их поворота всегда ограничен, а развиваемые ими управляющая сила и момент всегда находятся в некоторых пределах. Кроме ограниченности диапазона углов поворота подвижных органов управления также ограничивается и их угловая скорость, что следует из ограниченности возможностей привода. Для неподвижных и некоторых подвижных управляющих органов, ограничения формируются из условий ограниченности развиваемых управляющих усилий и скорости изменения этих усилий.

Ограничения на возмущающие воздействия

Возмущающие воздействия (возмущения), влияющие на движение РН в процессе полета, можно разделить на два основных типа. Первый тип — технологические возмущения. Это возмущения, обусловленные технологическими погрешностями исполнения конструкции ракеты. Обычно такие возмущения ограничиваются технологическими допусками и расчетными параметрами полета.

Второй тип — ветровые возмущения. Возмущения такого типа возникают при воздействии на корпус ракеты воздушных масс, перемещающихся относительно поверхности Земли с некоторой скоростью. Обычно учитывают только горизонтальные потоки воздуха, поскольку они обладают значительными скоростями, носят переменный характер в зависимости от высоты и воздействуют на большую поверхность ракеты. Ограничения на ветровые возмущения накладываются с учетом статистических наблюдений зондирования атмосферы в районе космодрома. Для каждого космодрома существует свой основной стандарт на ветровые характеристики в зависимости от сезона (лето, зима). Границу максимально возможной скорости ветра в зависимости от высоты называют огибающей ветра, которая формируется статистически с некоторой доверительной вероятностью, обычно 0,993. Также ограничивается величина изменения возможной скорости срыва или порыва потока воздушных масс в зависимости от высоты полета РН. Такие ветры называют градиентными. Градиентные ветры представляют наиболее опасный вид возмущений, которые необходимо обязательно рассматривать в ходе проектирования системы стабилизации РН.

5. Численный пример моделирования движения РН

Рассмотрим результаты численного моделирования возмущенного движения РН «Союз-5.1» в плоскости тангажа. Математическая модель динамики РН содержит уравнения движения ракеты как твердого тела с дополнительными степенями свободы: четыре тона упругих поперечных колебаний корпуса и два уравнения колебаний жидкости в баках горючего и окислителя. Общий порядок модели системы — 16. Подробное описание модели изложено в [1].

На рис. 1–3 изображены графики изменения основных параметров возмущенного движения: вариации угла тангажа ϑ, вариации угловой скорости тан-

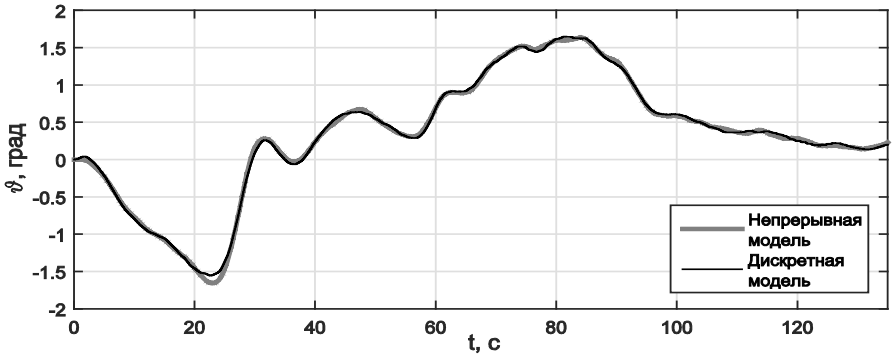


Рис. 1. График изменения вариации угла тангажа ϑ

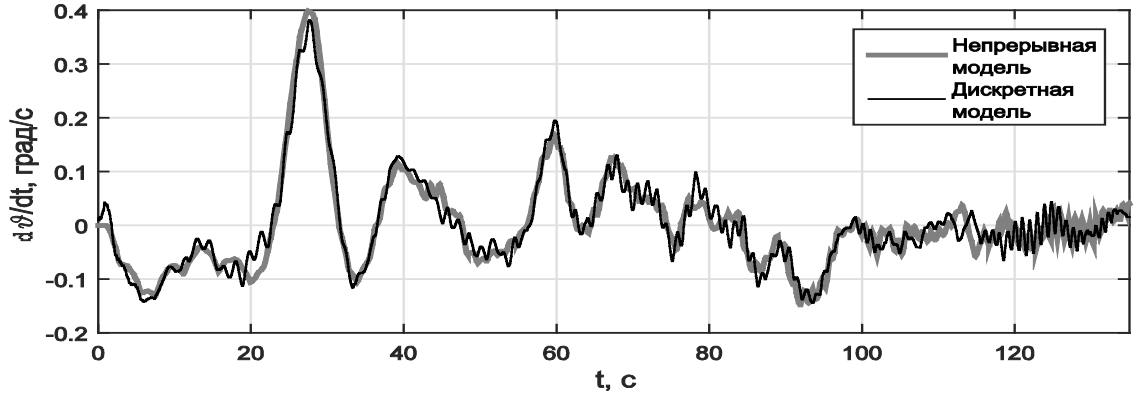


Рис. 2. График изменения вариации угловой скорости тангажа dϑ/dt

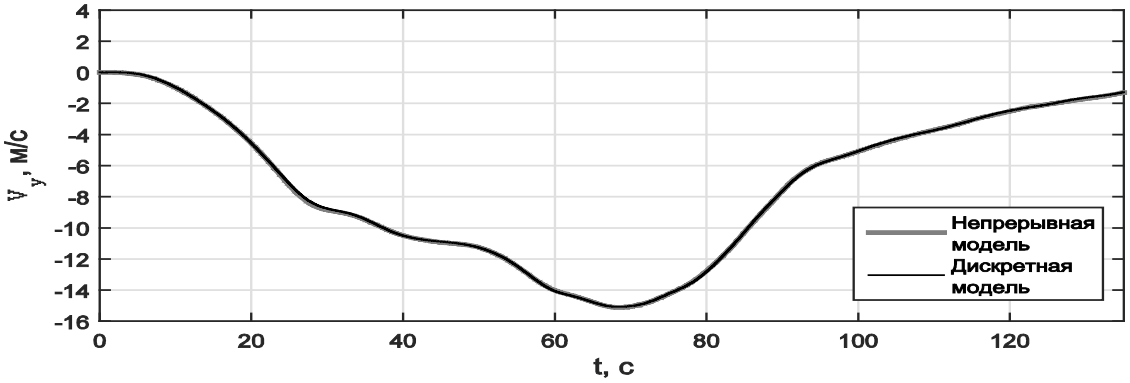


Рис. 3. График изменения вариации проекции линейной скорости центра масс V_y

гажа $d\vartheta/dt$ и вариации проекции линейной скорости центра масс V_y.

Как видно из рис. 1–3, графики переменных состояния непрерывной (1) и дискретной (2) моделей довольно близки, что подтверждает применимость рассмотренной дискретной модели для синтеза алгоритмов стабилизации РН.

Заключение

Предложенный в данной статье алгоритм дискретизации динамической модели РН вида (1) является удобным инструментом для разработчиков систем стабилизации движения РН, поскольку он позволяет достаточно быстро формировать соответствующую дискретную модель вида (2) и заметно ускорить процессы разработки, моделирования и создания таких систем. Для указанного примера процесс расчета матриц дискретной модели для шага дискретизации 0,03 с на ПК с частотой 2,7 ГГц (процессор IntelCore i7) занял 80 с, а время моделирования составило 25 с. Для сравнения, время моделирования расчета параметров движения на основе непрерывной модели вида (1) составило 180 с.

Приемлемая адекватность непрерывной и дискретной моделей подтверждена численным моделированием.

В заключение отметим, что достаточная адекватность непрерывной и дискретной моделей подтверждается численным моделированием возмущенного движения первой ступени РН «Союз-5.1».

Библиографический список

1. Булаев, В. В. Формулировка задачи оптимального управления и моделирование динамики упругого механического объекта в фазовом пространстве / В. В. Булаев, А. Ю. Горанов // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. 2015. Т. 15, № 4. С. 90–100.

2. Красовский, Н. Н. Теория управления движением / Н. Н. Красовский. М. : Наука, 1968. 476 с.

3. Лазарев, Ю. Н. Управление траекториями аэрокосмических аппаратов / Ю. Н. Лазарев. Самара : Самар. науч. центр РАН, 2007. 274 с.

4. Медич, Дж. Статистически оптимальные линейные оценки и управление / Дж. Медич. М. : Энергия, 1973. 440 с.

5. Тюлюкин, В. А. Алгоритм решения задачи терминального управления для линейной дискретной системы / В. А. Тюлюкин, А. Ф. Шориков //Автоматика и телемеханика. 1993. № 4. С. 115–127.

6. Khalil, H. K. Nonlinear systems / H. K. Khalil. 2nd ed. New Jersey : Prentice Hall, 1996.

Сведения об авторах

Шориков Андрей Федорович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики Уральского энергетического института Уральского федерального университета, Екатеринбург. afshorikov@mail.ru

Булаев Владимир Владимирович — инженер-конструктор отдела управления движением АО «Научно-производственное объединение автоматики им. академика Н. А. Семихатова», аспирант кафедры прикладной математики Уральского энергетического института Уральского федерального университета, Екатеринбург. bulaev1991@mail.ru

---

A. F. Shorikov, V. V. Bulaev

THE FORMING PROCESS THE PLANT DYNAMIC MODEL FOR SOLVING STABILIZATION PROBLEM

The article described in detail the plant discrete-time dynamic model obtaining process in the recurrent Cauchy form for solution the stabilization problem. An example of the state-space, control and disturbances limitations is described, also in text included the specific missile flight regions classification. At the end of the article is perturbed motion numerical modeling example a promising missile «Soyuz-5.1», compared the discrete-time and continuous-time models.

ББК О638
УДК 629.76

А. Ф. Шориков, В. И. Калёв

ФОРМИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНОЙ ДИСКРЕТНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕРМИНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ТОПЛИВА РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 15-18-10014).

Описывается предлагаемый алгоритм формирования линейной дискретной динамической модели двигательной установки (ДУ) первой ступени ракеты-носителя (РН) на основе исходной непрерывной математической модели. Дискретность формируемой модели обусловлена особенностью измерения фазового состояния РН. Линейность формируемой математической модели предполагает дальнейшее применение методов построения и анализа областей достижимости фазовых состояний РН для организации оптимального терминального управления расходом топлива. Сформированная в работе дискретная динамическая модель сравнивается с исходной непрерывной моделью с помощью моделирования и приводятся его результаты.

1. Введение

Большинство современных ракет-носителей (РН), как правило, оснащается специальной системой управления расходом топлива (СУРТ), предназначенной для оптимизации расхода топлива на всём участке полёта РН. Объектом управления такой системы являются совокупность жидкостного реактивного двигателя (ЖРД) и его системы питания. СУРТ обычно включает в себя несколько подсистем, таких как подсистема поддержания давления в камерах сгорания (КС), подсистема регулирования кажущейся скорости, подсистема прогнозирования времени выработки компонентов топлива и система регулирования опорожнения баков (СОБ).

В данной статье рассматривается модель первой ступени РН как объекта управления СОБ. Главной задачей этой системы является приведение объекта управления в заданное конечное состояние к финальному (терминальному) моменту времени. Под заданным конечным состоянием объекта управления понимается одновременность выработки компонентов топлива (окислителя и горючего) в баках.

Для решения указанной задачи был разработан *статистически* оптимальный алгоритм управления [3], который можно назвать «классическим», так как он применяется для всех отечественных жидкостных ракет, использующих СУРТ. Существо «классического» алгоритма управления заключается в минимизации математического ожидания некоторой функции потерь от конечного состояния объекта. В действительности определение статистических характеристик таких показателей, как масса заправляемого в баки топлива, температура компонентов топлива и пр., является крайне сложной задачей, поскольку для одной и той же, уникальной в своем роде, ракеты, вообще говоря, невозможно получить такую информацию. Иначе говоря, имеет место некоторая неопределенность априорной информации об объекте. Следует отметить, что применение статистических методов в случаях сложных технических, экономических или социальных систем часто является неправомерным [1].

Управлению в условиях *неопределенности* посвящено большое количество работ [6–9; 11], причем в некоторых из них разработаны достаточно общие алгоритмы терминального управления линейными дискретными системами.

В настоящее время в ракетно-космической отрасли, на основе улучшения характеристик бортовых цифровых вычислительных машин, находят применение новые методы управления сложными объектами. В работе [4], например, на основе непрерывной модели разработана дискретная линейная модель первой ступени РН для решения задачи стабилизации в условиях неопределенности.

Цель данной работы заключается в формировании линейной дискретной динамической модели двигательной установки РН как объекта управления, которая в дальнейшем составит основу для решения задачи оптимального терминального управления расходом топлива РН в условиях неопределенности при использовании методов построения и анализа областей достижимости фазового вектора объекта управления [8–14].

2. Непрерывная модель объекта

На заданном интервале времени $t \in \overline{0,T}$ рассматривается модель ДУ первой ступени РН, состоящей из двигательных блоков (ДБ) $j = 1, ..., N$. В каждый из ДБ компоненты топлива поступают из двух соответствующих топливных баков — окислителя и горючего. Управление осуществляется при помощи дросселей, регулирующих скорость подачи компонентов топлива в ДБ. Опишем непрерывную модель

такой двигательной установки на управляемом этапе установившегося движения РН с допущением, что атмосферное давление отсутствует (движение в безвоздушном пространстве), а давление в камерах сгорания выдерживается на номинальном значении с помощью подсистемы поддержания давления.

Текущий коэффициент соотношения массовых расходов компонентов топлива в j-м ДБ рассчитывается согласно уравнению

$$K_{m_j}(\mathrm{t}) = K_m^{\text{ном}} + \Delta K_{m_j} + u(\mathrm{t}), \qquad (1)$$

где $K_m^{\text{ном}}$ — номинальное значение коэффициента соотношения компонентов; ΔK_{m_j} — начальное отклонение величины от номинала, вызванное погрешностью настройки дросселя j-го ДБ; $u(t)$ — управляющее воздействие.

Текущая пустотная тяга j-го ДБ определяется из выражения

$$P_{\text{п}_j}(\mathrm{t}) = P_{\text{п}}^{\text{ном}} + C_1\left(K_{m_j}(\mathrm{t}) - K_m^{\text{ном}}\right)^2 + \\ + C_2\left(K_{m_j}(\mathrm{t}) - K_m^{\text{ном}}\right), \qquad (2)$$

где $P_{\text{п}}^{\text{ном}}$ — номинальное значение пустотной тяги; C_1, C_2 — некоторые коэффициенты.

Удельный импульс тяги j-го ДБ в пустоте может быть вычислен как

$$I_{\text{уд}_j}(\mathrm{t}) = I_{\text{уд}}^{\text{ном}} + \Delta I_{\text{уд}_j} + \Delta I_{\text{уд}_j}^{K_m}(\mathrm{t}), \qquad (3)$$

где $I_{\text{уд}}^{\text{ном}}$ — номинальное значение удельного импульса тяги; $\Delta I_{\text{уд}_j}$ — отклонение от номинального значения удельного импульса тяги;

$$\Delta I_{\text{уд}_j}^{K_m} = C_3 {K_{m_j}}^2(\mathrm{t}) + C_4 K_{m_j}(\mathrm{t}) + C_5,$$

где C_3, C_4, C_5 — некоторые весовые коэффициенты.

Суммарный массовый расход топлива в j-м ДБ определяется из отношения

$$\dot{m}_{\Sigma_j}(\mathrm{t}) = \frac{P_{\text{п}_j}(\mathrm{t})}{I_{\text{уд}_j}(\mathrm{t})}. \qquad (4)$$

Массовые расходы горючего и окислителя в j-м ДБ будут удовлетворять соотношениям

$$\dot{m}_{\text{г}_j}(\mathrm{t}) = \frac{\dot{m}_{\Sigma_j}(\mathrm{t})}{1 + K_{m_j}(\mathrm{t})}, \qquad (5)$$

$$\dot{m}_{\text{о}_j}(\mathrm{t}) = \dot{m}_{\Sigma_j}(\mathrm{t}) - \dot{m}_{\text{г}_j}(\mathrm{t}). \qquad (6)$$

Таким образом, масса топлива, оставшаяся в баках окислителя и горючего, будет рассчитываться по формулам

$$M_{\text{г}}(\mathrm{t}) = M_{\text{г}}^{\text{нач}} + \Delta M_{\text{г}} - \sum_{j=1}^{\mathrm{N}} \int_0^T \dot{m}_{\text{г}_j}(\mathrm{t})\, dt, \qquad (7)$$

$$M_{\text{о}}(\mathrm{t}) = M_{\text{о}}^{\text{нач}} + \Delta M_{\text{о}} - \sum_{j=1}^{\mathrm{N}} \int_0^T \dot{m}_{\text{о}_j}(\mathrm{t})\, dt, \qquad (8)$$

где $M_{\text{г}}^{\text{нач}}$, $M_{\text{о}}^{\text{нач}}$ — номинальные заправляемые массы компонентов топлива; $\Delta M_{\text{г}}$, $\Delta M_{\text{о}}$ — начальные ошибки заправки компонентов топлива в баки.

Измерение фазового состояния объекта управления осуществляется датчиками уровня компонентов топлива, установленными внутри топливных баков. Выходной информацией этих датчиков является момент прохождения уровнем жидкости измерительной точки датчика. От числа измерительных точек напрямую зависит дискретность формируемой в данной работе модели, поскольку управляющее воздействие формируется лишь в моменты получения с датчиков уровня информации об объекте.

Формированию линейной дискретной динамической модели объекта посвящен следующий пункт работы.

3. Линейная дискретная модель объекта

Формирование линейной дискретной математической модели объекта СУРТ осуществляется на заданном дискретном промежутке времени $\overline{0,T}$ $(T > 0)$, движение (состояние) объекта и измерения информационного сигнала в системе описываются рекуррентными векторно-матричными уравнениями:

$$x(k+1) = \mathbf{A}x(k) + \mathbf{B}u(k), \\ y(k) = \mathbf{C}x(k), \qquad (9)$$

где $k \in \overline{0, T-1}$; $x(k) \in \mathbb{R}^{\mathrm{n}}$ — вектор состояния объекта; $u(k) \in \mathbb{R}^{\mathrm{p}}$ — вектор управления; $\mathbf{A}$ — квадратная $n \times n$ матрица состояния; $\mathbf{B}$ — $n \times 1$ вектор управления; $y(k) \in \mathbb{R}^{\mathrm{r}}$ — вектор измерений информационного сигнала; $\mathbf{C}$ — матрица $r \times n$ выхода.

Для описания системы в подобном виде необходимо, во-первых, произвести линеаризацию уравнений непрерывной модели объекта (1)–(8) и, во-вторых, на основе результата линеаризации сформировать модель объекта в дискретном виде (в виде рекуррентных конечно-разностных уравнений).

Переменными состояния объекта являются следующие физические величины: $\dot{m}_{\text{о}_j}, \dot{m}_{\text{г}_j}$ — массовые расходы компонентов топлива в j-м ДБ; $M_{\text{о}}$, $M_{\text{г}}$ — массы окислителя и горючего внутри топливных баков; здесь; $j = 1, ..., N$; $i = 1, ..., 16$.

Управление u_i, представляет собой команду на изменение положения дросселя во всех j ДБ, формируемую в момент прохождения уровнями компонентов топлива i-й измерительной точки. Иначе говоря, посредством управляющей команды происходит регулирование среднего коэффициента массовых расходов всей ДУ РН.

В качестве измеряемой величины выступает величина Δt_i, которая обозначает действительное временное рассогласование между уровнями компонентов топлива.

3.1. Линеаризация модели

Рассмотрим возможность линеаризации уравнений непрерывной модели объекта, описанного в п. 1. Переход от нелинейной модели объекта к линейной будем осуществлять согласно приведенной выше

последовательности уравнений, описывающих динамику объекта. Для последующей линеаризации целесообразно привести выражения (1), (2) и (3) к более удобному виду. Подставив уравнение (1) в уравнение (2), мы вводим новую управляющую переменную:

$$U_j(\mathrm{t}) = \Delta K_{m_j} + u(\mathrm{t}) = K_{m_j}(\mathrm{t}) - K_m^{\text{ном}},$$

которую можно интерпретировать как текущее отклонение от номинального значения коэффициента массовых расходов в j-м ДБ. Тогда пустотная тяга будет определена как

$$P_{\text{п}_j}(\mathrm{t}) = P_{\text{п}}^{\text{ном}} + C_1 U_j{}^2(\mathrm{t}) + C_2 U_j(\mathrm{t}). \quad (10)$$

Принимая во внимание новый вид управления $U_j(t)$ и допуская, что $\Delta I_{\text{уд}.j} = 0$, подставим выражение (1) в выражение (3), после — развернем полученное выражение и произведем для него необходимые упрощения. Таким образом, уравнение для удельного импульса тяги примет окончательный вид:

$$I_{\text{уд}_j}(\mathrm{t}) = I_{\text{уд}}^{\text{ном}} + (2C_3 K_m^{\text{ном}} + C_4) U_j(\mathrm{t}) + \\ + C_3 U_j{}^2(\mathrm{t}). \quad (11)$$

Суммарный массовый расход компонентов топлива в j-м ДБ, в силу уравнений (10) и (11), будет вычисляться с помощью соотношения

$$\dot{m}_{\Sigma_{\text{j}}}(\mathrm{t}) = \\ = \frac{P_{\text{п}}^{\text{ном}} + C_3 U_j(\mathrm{t}) + C_2 U_j{}^2(\mathrm{t})}{I_{\text{уд}}^{\text{ном}} + (2C_3 K_m^{\text{ном}} + C_4) U_j(\mathrm{t}) + C_3 U_j{}^2(\mathrm{t})}. \quad (12)$$

Полученное с помощью разложения правой части (12) в ряд Тейлора, линейное уравнение будет иметь вид

$$\dot{m}_{\Sigma_{\text{j}}}(\mathrm{t}) = \frac{P_{\text{п}}^{\text{ном}}}{I_{\text{уд}}^{\text{ном}}} + \\ + \frac{C_2 I_{\text{уд}}^{\text{ном}} - (2C_3 K_m^{\text{ном}} + C_4) P_{\text{п}}^{\text{ном}}}{I_{\text{уд}}^{\text{ном}\,2}} U_j(\mathrm{t}) = \\ = \frac{P_{\text{п}}^{\text{ном}}}{I_{\text{уд}}^{\text{ном}}} + a_1 U_j(\mathrm{t}). \quad (13)$$

Аналогично для уравнения (5) соответствующее линейное уравнение будет иметь вид

$$\dot{m}_{\text{г}_{\text{j}}}(\mathrm{t}) = \frac{P_{\text{п}}^{\text{ном}}}{I_{\text{уд}}^{\text{ном}}(1 + K_m^{\text{ном}})} + \\ + \frac{a_1(1 + K_m^{\text{ном}}) - \frac{P_{\text{п}}^{\text{ном}}}{I_{\text{уд}}^{\text{ном}}}}{(1 + K_m^{\text{ном}})^2} \cdot U_j(\mathrm{t}) = \\ = \frac{P_{\text{п}}^{\text{ном}}}{I_{\text{уд}}^{\text{ном}}(1 + K_m^{\text{ном}})} + a_2 U_j(\mathrm{t}). \quad (14)$$

Зная из линейных уравнений (13) и (14) суммарный массовый расход и расход горючего в j-м ДБ, получим линейное уравнение для определения массового расхода окислителя:

$$\dot{m}_{\text{о}_{\text{j}}}(\mathrm{t}) = \dot{m}_{\Sigma_{\text{j}}}(\mathrm{t}) - \dot{m}_{\text{г}_{\text{j}}}(\mathrm{t}) = \\ = \frac{P_{\text{п}}^{\text{ном}}(2 + K_m^{\text{ном}})}{I_{\text{уд}}^{\text{ном}}(1 + K_m^{\text{ном}})} + a_3 U_j(\mathrm{t}). \quad (15)$$

С учетом сформированных линейных уравнений массовых расходов (14) и (15) появляется возможность перейти к формированию дискретного представления сформированной линейной непрерывной модели объекта управления.

3.2. Дискретная динамическая модель объекта управления

Линейная дискретная динамическая модель объекта управления формируется на заданном промежутке времени $\overline{0,T}$, который состоит из $(i + 1)$ временных интервалов длительностью ΔT_i, где i — количество измерительных точек датчиков уровней горючего и окислителя.

Массовый расход горючего и окислителя в соответствующем j-м ДБ может быть представлен в дискретной форме в виде рекуррентного соотношения, где весь процесс изменения исследуемых параметров рассматривается лишь в моменты получения информации с датчиков уровня:

$$\dot{m}_{\text{г}_{\text{j}}}(k) = \dot{m}_{\text{г}_{\text{j}}}(k-1) + a_2 u(k-1), \\ j = 1, \dots, N, \quad (16)$$

$$\dot{m}_{\text{о}_j}(k) = \dot{m}_{\text{о}_j}(k-1) + a_3 u(k-1), \\ j = 1, \dots, N, \quad (17)$$

где $k \in \overline{0, T-1}$;

$$\dot{m}_{\text{г}_{\text{j}}}(0) = \frac{P_{\text{п}}^{\text{ном}}}{I_{\text{уд}}^{\text{ном}}(1 + K_m^{\text{ном}})} + a_2 \Delta K_{m_{\text{j}}};$$

$$\dot{m}_{\text{о}_j}(0) = \frac{P_{\text{п}}^{\text{ном}}(2 + K_m^{\text{ном}})}{I_{\text{уд}}^{\text{ном}}(1 + K_m^{\text{ном}})} + a_3 \Delta K_{m_{\text{j}}}.$$

Дискретные уравнения, позволяющие определить значения текущей массы окислителя и горючего в соответствующем топливном баке, выглядят следующим образом:

$$M_{\text{г}}(k) = M_{\text{г}}(k-1) - \Delta T_i \sum_{j=1}^{N} \dot{m}_{\text{г}_{\text{j}}}(k-1), \\ j = 1, \dots, N, \quad (18)$$

$$M_{\text{о}}(k) = M_{\text{о}}(k-1) - \Delta T_i \sum_{j=1}^{\text{N}} \dot{m}_{\text{о}_j}(k-1), \\ j = 1, \dots, N, \quad (19)$$

где $k \in \overline{0, T-1}$; $M_{\text{г}}(0) = M_{\text{г}}^{\text{нач}} + \Delta M_{\text{г}}$; $M_{\text{о}}(0) = M_{\text{о}}^{\text{нач}} + \Delta M_{\text{о}}$.

Измеряемой величиной для рассматриваемой системы управления является рассогласование по времени между уровнями компонентов топлива, описываемое уравнением

$$\Delta t(k) = c_1 M_{\text{г}}(k) + c_2 M_{\text{о}}(k), \quad (20)$$

где $k \in \overline{0, T}$; c_1, c_2 — известные числовые коэффициенты.

Порядок сформированной модели объекта управления зависит от количества ДБ и равен $n = 2N + 2$. Векторно-матричные уравнения (9), соответствующие линейной дискретной модели объекта СУРТ,

описываемой уравнениями (16)–(20), представляют собой следующее. Вектор состояния объекта $x(k) = \left[\dot{m}_{\text{г}_j}(k)\ \dot{m}_{\text{о}_j}(k)\ M_{\text{г}}(k)\ M_{\text{о}}(k)\right]^T \in \mathbb{R}^{\text{n}}, j = 1, ..., N,$ вектор управления — скалярная величина $u(k) \in \mathbb{R}^{\text{p}}$, где $p = 1$, вектор возмущений принимается нулевым, вектор измерений $y(k) \in \mathbb{R}^{\text{r}}$, при $r = 1$. Матрицы состояния **A**, управления **B** и выхода **C** принимают следующие значения:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_{2N\times 2N} & \mathbf{O}_{2N\times 2} \\ -\Delta T_i \mathbf{L} & \mathbf{E}_{2\times 2} \end{bmatrix},\ \mathbf{B} = \begin{bmatrix} a_2 \mathbf{I}_{N\times 1} \\ a_3 \mathbf{I}_{N\times 1} \\ \mathbf{O}_{2\times 1} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{O}_{2N\times 1} \\ c_1 \\ c_2 \end{bmatrix}^T,\ \mathbf{L} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{1\times N} & \mathbf{O}_{1\times N} \\ \mathbf{O}_{1\times N} & \mathbf{I}_{1\times N} \end{bmatrix},$$

где $\mathbf{E}_{m\times m}$ — единичные матрицы размерностью, указанной в нижнем индексе; $\mathbf{O}_{m\times m}$ — нулевые матрицы размерностью, указанной в нижнем индексе; $\mathbf{I}_{m\times m}$ — матрицы размерностью, указанной в нижнем индексе, состоящие из единичных элементов.

Полученная модель не содержит вектор возмущений, воздействующих на объект, т. е. в данной работе рассматривается упрощенная модель объекта управления. В дальнейшем модель динамики объекта управления будет усложняться в этом направлении, приближаясь к его более адекватному моделированию.

Следующим этапом данной работы является сравнение исходной непрерывной модели динамики объекта управления и сформированной соответствующей дискретной модели посредством численного моделирования в MATLAB Simulink.

4. Алгоритм формирования управляющего сигнала

Для формирования управляющих воздействий воспользуемся «классическим» алгоритмом управления. Впервые этот алгоритм терминального управления для задачи расходования топлива был предложен в работе Б. Н. Петрова и др. [4]. В последнее время вариации этого алгоритма опубликованы и в других работах [2; 5]. Согласно данному алгоритму, управляющее воздействие формируется по информации о двух последовательных срабатываниях датчика уровня жидкостей (окислителя и горючего) в баках ДУ:

$$u(k) = A(k)\big(B(k)\Delta t(k) - \Delta t(k-1)\big),\quad i = 1, \dots, N,\ \ \Delta t(0) = 0, \tag{21}$$

где $A(k)$ — коэффициент усиления; $B(k)$ — коэффициент прицеливания.

Управляющее воздействие $u(k)$ можно интерпретировать как величину, на которую требуется изменить текущее значение коэффициента массовых расходов жидкостей, чтобы к заданному терминальному моменту времени привести состояние системы (наблюдаемую величину временного рассогласования $\Delta t(k)$) к нулю.

5. Сравнение моделей

Для сравнения исходной непрерывной и сформированной дискретной моделей проведем численное моделирование системы при помощи программного пакета MATLAB R2014a в среде Simulink. В качестве нелинейной непрерывной модели использовали динамическую систему (1)–(8), а в качестве дискретной модели – динамическую систему (16)–(20). Управляющее воздействие формируется по измеренной информации в соответствии с соотношением (21).

На рис. 1 и 2 изображены графики изменения масс компонентов топлива в баках, а на рис. 3 и 4 показаны графики изменения массового расхода компонентов топлива.

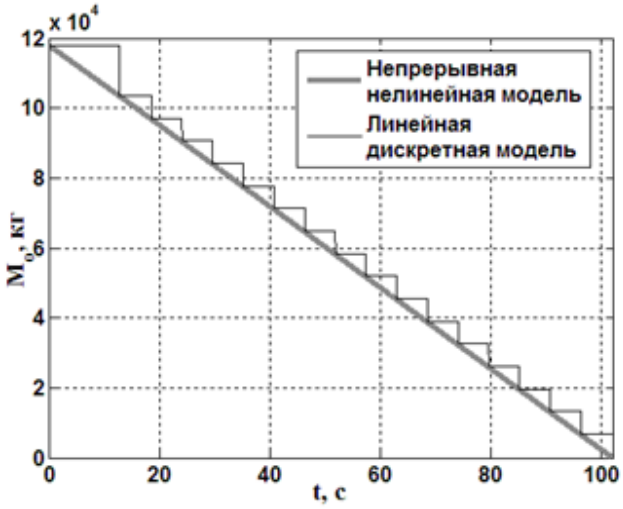


Рис. 1. График изменения массы окислителя M_o в баке

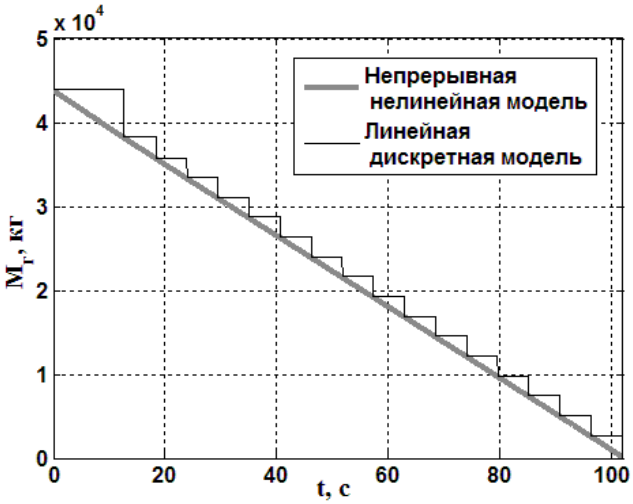


Рис. 2. График изменения массы горючего $M_г$ в баке

Из рисунков видно, что графики выбранных фазовых координат объекта управления в исходной непрерывной модели и в сформированной дискретной модели достаточно близки. Максимальное отличие по массе не превышает 30 кг для модели бака окислителя и 11 кг — для модели бака горючего. Максимальное отличие по массовому расходу не превышает 0,3 кг/с для расхода окислителя и 0,1 кг/с — для расхода горючего.

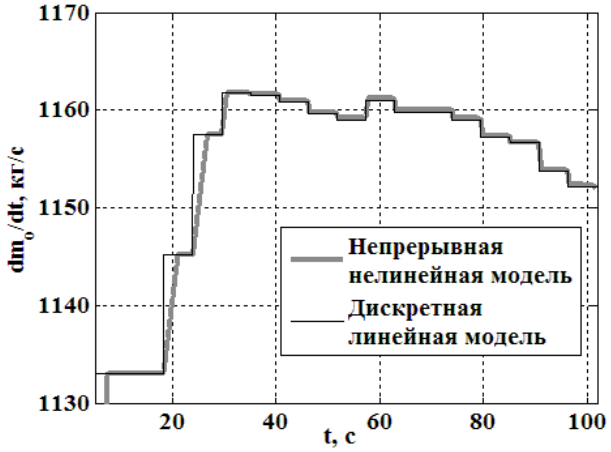


Рис. 3. График изменения массового расхода окислителя $\dot{m}_o$

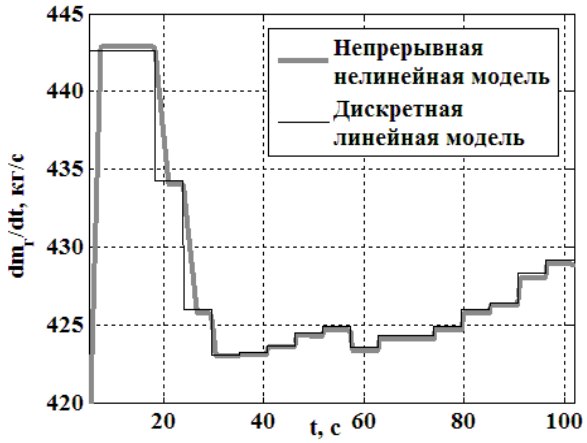


Рис. 4. График изменения массового расхода горючего $\dot{m}_г$

6. Заключение

В данной работе на основе непрерывной математической модели объекта управления получена его линейная дискретная модель, включающая в себя векторы состояния и управления. Полученная модель в дальнейшем будет использована для решения задачи оптимального терминального управления рассматриваемым объектом при наличии неопределенности априорной информации об объекте с учетом методов построения и анализа областей достижимости [6–8] его терминальных фазовых состояний. Представленные в данной работе результаты численного эксперимента, проведённого в программной среде Simulink, показали, что сформированная линейная дискретная модель достаточно адекватна исходной непрерывной модели.

Библиографический список

1. Алимов, А. Ю. Альтернатива методу математической статистики / А. Ю. Алимов. М. : Знание, 1980. 64 с.
2. Андриенко, А. Я. Игровые принципы терминального управления нестационарным объектом / А. Я. Андриенко, Е. И. Тропова, А. И. Чадаев // Упр. большими системами. 2013. № 35. С. 59–67.
3. Бортовые терминальные системы управления (принципы построения и элементы теории) / Б. Н. Петров, Ю. П. Портнов-Соколов, А. Я. Андриенко, В. П. Иванов. М. : Машиностроение, 1983. 200 с.
4. Булаев, В. В. Формулировка задачи оптимального управления и моделирование динамики упругого механического объекта в фазовом пространстве / В. В. Булаев, А. Ю. Горанов // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. 2015. Т. 15, № 4. С. 90–100.
5. Завадский, В. К. Методы и способы формального учета неполноты информации в исходных данных на проектирование бортовых систем терминального управления / В. К. Завадский, В. П. Иванов, Е. Б. Каблова, Л. Г. Кленовая // Проблемы упр. 2010. № 6. С. 71–77.
6. Красовский, Н. Н. Теория управления движением / Н. Н. Красовский. М. : Наука, 1968. 476 с.
7. Куржанский, А. Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности / А. Б. Куржанский. М. : Наука, 1977. 392 с.
8. Тюлюкин, В. А. Алгоритм решения задачи терминального управления для линейной дискретной системы / В. А. Тюлюкин, А. Ф. Шориков // Автоматика и телемеханика. 1993. № 4. С. 115–127.
9. Черноусько, Ф. Л. Оценивание фазового состояния динамических систем. Метод эллипсоидов / Ф. Л. Черноусько. М. : Наука, 1988. 320 с.
10. Asarin, E. Approximate reachability analysis of piecewise linear dynamical systems / E. Asarin, O. Bournez, Th. Dang, O. Maler // Hybrid Systems: Computation and Control, LNCS. 2000. Vol. 1790. P. 21–31.
11. Girard, A. Reachability of uncertain linear systems using zonotopes / A. Girard // HSCC 2005. LNCS. Springer. Vol. 3414. P. 291–305.
12. Kurzhanskiy, A. A. Ellipsoidal techniques for reachability analysis of discrete-time linear systems / A. A. Kurzhanskiy, P. Varaiya // IEEE Transactions on Automatic Control. 2007. Vol. 52. P. 26–38.
13. Kurzhanskiy, A. A. Reach set computation and control synthesis for discrete-time dynamical systems with disturbances / A. A. Kurzhanskiy, P. Varaiya // Automatica. 2011. Vol. 47. P. 1414–1426.
14. Lasserre, J. B. Reachable and Controllable Sets for Two-Dimensional, Linear, Discrete-Time Systems / J. B. Lasserre // J. of Optimization Theory and Applications. 1991. Vol. 70, № 3. P. 583–595.

Сведения об авторах

Шориков Андрей Федорович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики Уральского энергетического института Уральского федерального университета, Екатеринбург. afshorikov@mail.ru

Калёв Виталий Игоревич — аспирант кафедры прикладной математики Уральского энергетического института Уральского федерального университета, инженер-конструктор отдела управления движением АО «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н. А. Семихатова», Екатеринбург. butahlecoq@gmail.com

---

A. F. Shorikov, V. I. Kalev

LINEAR DISCRETE-TIME DYNAMICAL MODEL FORMING FOR SOLVING OPTIMAL TERMINAL FUEL CONSUMPTION PROBLEM OF LAUNCH VEHICLE

The paper derives algorithm of linear discrete-time dynamical model forming for launch vehicle first-stage propulsion system based on continuous mathematical model. Forming discrete-time model is determined by specific measurements of the plant state. Linearity of forming mathematical model presumes later application of reachability analysis approaches for providing optimal terminal fuel consumption control of a plant. Formed model is compared with original model by the use of simulation in MATLAB Simulink and the results of this simulation are shown.

ББК 386-53
УДК 681

И. В. Билиженко, В. В. Волхонский

ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПАССИВНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ИЗВЕЩАТЕЛЕЙ С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ОБНАРУЖЕНИЯ

Рассматриваются особенности моделей квалифицированного нарушителя, применяющего способы маскировки и направление движения, снижающие вероятность обнаружения пассивными инфракрасными извещателями. Анализируется характер изменения уровня инфракрасного излучения нарушителя в разных условиях проникновения. Формулируются ограничения и критерии решения задачи синтеза извещателя с улучшенными характеристиками обнаружения. Даются рекомендации по целесообразности использования разных алгоритмов и формы диаграммы направленности для различных моделей нарушителей.

В настоящее время оптико-электронные пассивные инфракрасные (ПИК) извещатели — одни из наиболее популярных и широко используемых устройств обнаружения систем физической защиты различных объектов, таких как объекты информатизации, критической инфраструктуры, культурного наследия и т. п. Это легко объясняется хорошим соотношением функциональных возможностей, прежде всего по обнаружению несанкционированного проникновения (НП) нарушителя [1] и вполне приемлемой ценой. Однако можно говорить, что разработчики таких устройств достигли определенного предела функциональных характеристик. Поэтому актуальной является задача анализа особенностей решения задачи синтеза ПИК-извещателей с улучшенными характеристиками обнаружения.

Можно выделить несколько этапов или составляющих решения поставленной задачи. Прежде всего это анализ существующих моделей нарушителей и разработка (при необходимости) новых. Далее естественно должны быть сформулированы ограничения. И, наконец, возможные пути решения собственно задачи синтеза упомянутого устройства.

Модели нарушителя

Проанализируем существующие стандарты, в первую очередь ГОСТ Р и EN [2; 3], характеристики реальной цели, ее соответствие стандартам и специфику квалифицированного нарушителя. В соответствии с методикой ГОСТ Р [2] для проверки работоспособности ПИК-извещателей установлено, что извещатель должен обнаруживать движение стандартной цели (человека), перемещающейся в пределах зоны обнаружения устройства. При этом в качестве стандартных целей определены конструктивные элементы, характеристики излучения которых в ИК-диапазоне электромагнитного спектра аналогичны характеристикам излучения двигающегося в различных положениях (таблица) человека массой 50–70 кг, ростом 165–180 см, одетого в хлопчатобумажные брюки, куртку или халат и вязаную шапку. Так, в работах [4; 5] для оценки вероятности обнаружения использовалась именно такая цель (рис. 1).

Более детализированные по температуре (в пяти частях тела) цели определены в европейском стандарте [3]. Отметим, что такая цель с большой точностью соответствует форме и распределению температур по поверхности тела человека.

В аспекте вероятности обнаружения, как основной характеристики любых устройств обнаружения, упомянутые стандарты учитывают типичного нарушителя, перемещающегося лишь в определенных направлениях, наиболее выгодных с точки зрения его обнаружения. Также ГОСТ учитывает некоторые приемы нарушителя, связанные с различными положениями тела [3]. Но в этих стандартах нет учета необходимости обнаружения квалифицированного нарушителя, использующего различные методы и средства снижения вероятности обнаружения (ВО).

Тип стандартной цели (способ перемещения человека)	Размер, мм		
	а	в	с
Стандартная цель I (человек, перемещающийся в полный рост)	300	1500	235
Стандартная цель II (человек, перемещающийся в глубоком присяде, руки на коленях, спина прямая («гусиным шагом»))	500	800	235
Стандартная цель III (человек, перемещающийся ползком (по-пластунски))	1500	250	400

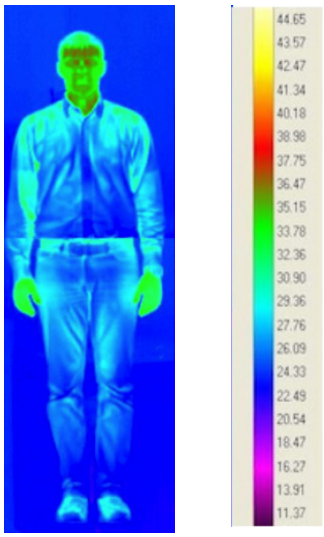


Рис. 1. Термограмма реального нарушителя

Однако на практике подготовленный нарушитель может использовать такие методы и средства, например, маскировка в ИК-диапазоне (теплоизолирующая одежда) и радиальное направление движения [4; 5].

Целесообразность постановки такой задачи объясняется прежде всего необходимостью корректной оценки эффективности обнаружения подготовленного нарушителя. С этой точки зрения нужно говорить о необходимости адаптации возможностей синтезируемых извещателей:

– к направлению движения цели;

– к действиям нарушителя, приводящим к возможным изменениям термограмм модели нарушителя, включая, в первую очередь, возможность существенного снижения и перераспределения уровня теплового излучения между частями тела;

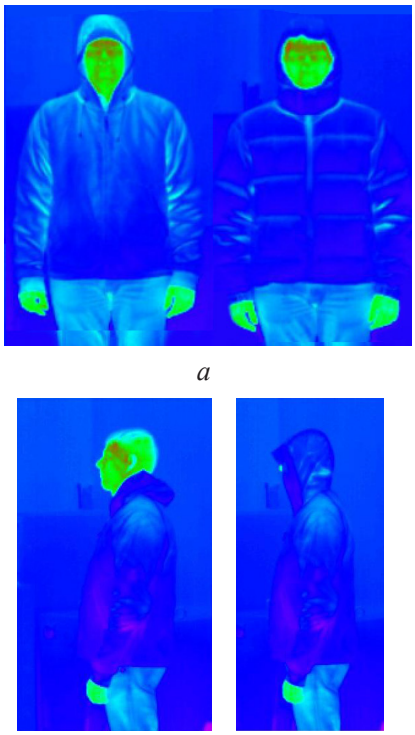
– к действиям нарушителя, приводящим к необходимости перехода от модели с распределенной излучающей поверхностью к модели совокупности малоразмерных квазиточечных составляющих и, как следствие, к изменению тепловой «формы» (поверхности) и размеров цели, что отчасти связано с предыдущим.

Полученные в работе [5] результаты свидетельствуют о том, что наличие таких простых и общедоступных элементов одежды, как зимняя куртка с капюшоном, перчатки и утепленные брюки, может свести к минимуму температурный контраст между целью (нарушителем) и фоном и, как следствие, снизить значение ВО ПИК-извещателем НП (рис. 2). Однако, с другой стороны, очевидно и то, что с течением времени надетая на нарушителя одежда или экипировка будет прогреваться по причине выделения телом человека тепла, которое не будет передаваться окружающей среде. Следовательно, необходимо также оценить зависимость прогрева одежды на нарушителе от времени. На рис. 3 показаны, соответственно, термограммы человека, одетого в утепленную куртку, полученные через 1; 5 и 15 мин. Указанные термограммы позволяют визуально оценить динамику прогрева такой куртки.

Оценим характер распределения уровня ИК-излучения [6]. Поскольку из принципа действия ПИК-извещателя следует компенсация температурного фона, то при оценке мощности излучения, формирующего выходной сигнал извещателя, следует учитывать разницу в мощностях излучения фона и цели. То есть можно говорить о значении разностной мощности:

$$\Delta P_И = \left| P_И^{СЦ} - P_Ф \right| = \left| K\left(T_{СЦ}^4 - T_Ф^4\right)\right| =$$

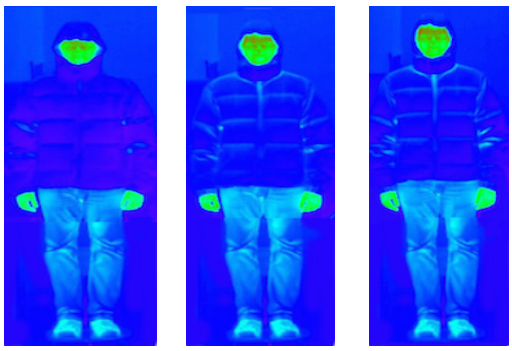
$$= \left| K\left(\left(T_Ф + \Delta T\right)^4 - T_Ф^4\right)\right|, \qquad (1)$$



а

б *в*

Рис. 2. Характер уровня ИК-излучения цели с маскировкой



а *б* *в*

Рис. 3. Термограммы прогрева

где коэффициент пропорциональности K учитывает соответствующие коэффициент k и площадь в законе Стефана — Больцмана.

Учтем, что абсолютное значение фоновой температуры в градусах Кельвина значительно больше разности температур фона и СЦ, т. е. $T_Ф >> \Delta T$. Тогда, выполнив преобразования в выражении (1) и пренебрегая составляющими с более низкими степенями фоновой температуры и с учетом $T_Ф >> \Delta T$, можно записать

$$\Delta P_И \approx \left| K T_Ф^3 \Delta T \right|.$$

Из этих выражений видно, что разностная мощность излучения зависит как от разницы температур, так и от значения $T_Ф$ фоновой температуры.

Приведенные формулы получены в предположении, что разность температур постоянна по поверхности имитатора СЦ (ΔT = const). Однако для СЦ, как и для реального нарушителя, это предположение неправомочно (рис. 1, 2). Оценку влияния перераспределения разностных мощностей излучения от отдельных n-х частей СЦ $\Delta P_{Иn}$ можно сделать, используя, например, результаты работы [6] и проведенные авторами исследования и расчеты. Соответствующие графики для разностной мощности $\Delta P_{Иn}^{Н}$, нормированной к максимальному значению, приведены на рис. 4, *а*.

На этом же графике показано и изменение общей мощности излучения:

$$P_И^{СЦ} = \sum_{n=1}^{N} P_{Иn}^{СЦ}.$$

Кривые на этом графике иллюстрируют заметное изменение разностных мощностей $\Delta P_{Иn}$ излучения от отдельных частей СЦ и существенное перераспределение их между отдельными частями СЦ при изменении фоновой температуры. Также надо отметить наличие явных минимумов, различных для разных частей СЦ. Очевидно, что в совокупности это может приводить к заметному изменению вероятности обнаружения и, как следствие, к изменению результатов теста прохода при оценке вероятности обнаружения.

Кроме рассмотренных зависимостей в некоторых задачах могут оказаться полезными зависимости (рис. 4, *б*), характеризующие изменение сигнала, сформированного одной элементарной чувствительной зоной, при попадании в неё СЦ, по сравнению с сигналом только от фона. Это будет соответствовать выражению

$$\Delta P_И = \left| K \left(T_{СЦ} - T_Ф \right)^4 \right|.$$

Как видно, характер изменения функций в этом случае аналогичный.

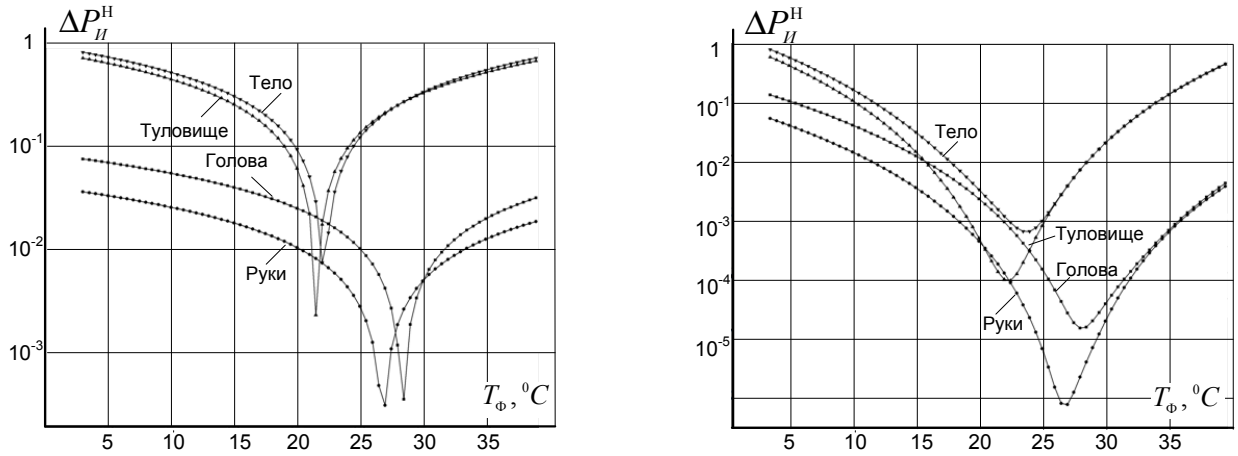
Отметим, что эти расчеты учитывают только непосредственное влияние фоновой температуры. Наличие минимумов может приводить к еще большим ошибкам.

Также эти результаты не учитывают возможное существенное снижение уровня излучения от отдельных частей нарушителя тела при использовании теплоизолирующей одежды. В этом случае температура части поверхности цели становится практически равной фоновой. Это иллюстрируется графиками на рис. 5, выполненными на основе данных на рис. 3 и работы [5].

Таким образом, на основании проведенных исследований и полученных результатов можно отметить следующее:

– Разностная мощность излучения от различных частей тела цели меняется при изменении фоновой температуры, что говорит о целесообразности сужения диапазона значений фоновых температур при проведении испытаний или использования какого-либо способа учета этих изменений.

– При использовании теплоизолирующих материалов происходит значительное перераспределение ИК-излучения в пределах поверхности тела нарушителя. Основными составляющими могут становиться излучение от лица и рук.



а *б*

Рис. 4. Характер изменения уровня излучения от фоновой температуры

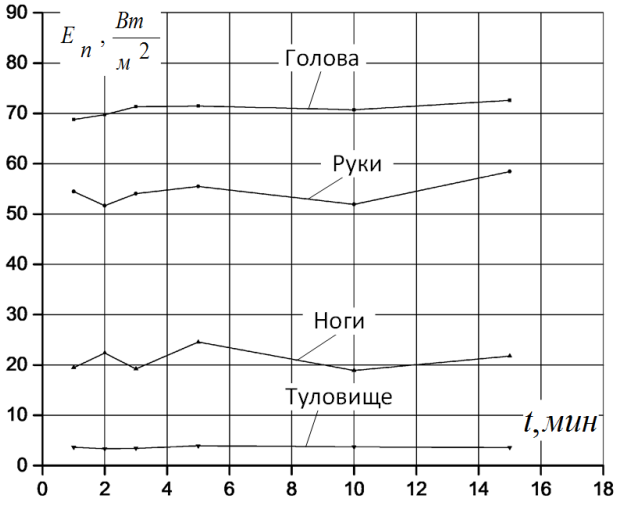


Рис. 5. Зависимость уровня излучения от времени прогрева

– Можно говорить о целесообразности введения специальных моделей цели квазиточечного типа применительно к задачам анализа объектов с повышенными требованиями по обеспечению безопасности, а также при разработке новых образцов пассивных инфракрасных извещателей для упомянутых объектов.

Ограничения

Учтем следующие соображения при формулировке ограничений на процедуру разработки рассматриваемого устройства.

Прежде всего необходимость решения задачи не просто разработки устройства обнаружения, инвариантного к направлению движения нарушителя, а разработку устройства, которое целесообразно будет внедрять в производство. Очевидно, что производство должно быть оправдано с экономической точки зрения. А это значит, что стоимость новых устройств должна быть соизмерима со стоимостью «старых», выпускаемых в настоящее время. Ясно, что речь идет об устройствах одного ценового класса и с близкими функциональными характеристиками. В противном случае (разработка устройства с заметно более высокой ценой) его использование будет явно иметь ограниченное распространение, например, на объектах повышенной категории надежности. Такие устройства, конечно, также необходимы, но в существенно более ограниченном объеме.

Из упомянутого выше экономического ограничения следует ряд жестких конструктивных ограничений. К ним можно отнести следующие.

– Сохранение основных принципиальных параметров оптической системы с тем, чтобы ее возможные изменения не приводили к сколько-нибудь заметному увеличению производственных издержек, а следовательно, и стоимости.

– Сохранение габаритов устройства или, по крайней мере, несущественное их изменение.

– Сохранение или, по крайней мере, непринципиальные изменения корпуса.

В идеальном случае желательно синтезировать устройство с использованием той же оптической системы и тем же корпусом, что и существующие.

Вообще говоря, следует также учитывать и необходимость соответствия требованиям существующих ГОСТов.

Критерии

Даже поверхностный анализ факторов, влияющих на характеристики обнаружения, говорит о следующих особенностях постановки задачи синтеза:

– большом количестве параметров, влияющих на форму и параметры выходного сигнала;

– нестационарности входных сигналов;

– возможности существенного изменения параметров цели, т. е. необходимости учета различных моделей нарушителя.

Поэтому, говоря о критериях, нужно отметить, что, к сожалению, с учетом сформулированных ограничений, физического принципа действия, конструктивных особенностей, специфики применения ПИК-извещателей, а также очень высокой степени неопределенности параметров реальных сигналов и их нестационарности, решить строго задачу оптимального синтеза извещателя практически невозможно. Поэтому необходимо говорить о квазиоптимальных критериях и процедурах синтеза. Например, о требовании некоторых допусков на разницу в расстоянии обнаружения нарушителя, движущегося в разных направлениях — тангенциальном, диагональном и радиальном.

Воспользуемся детальным анализом принципов формирования диаграмм направленности, сделанным в [1]. В упомянутой работе показано, что форма диаграммы направленности и, в частности, ее элементарных чувствительных зон определяется с учетом размеров цели. Поэтому отмеченное выше перераспределение температур по поверхности тела нарушителя при изменении фоновой температуры и соответствующее изменение принимаемой пироэлектрическим приемником ПИК-извещателя мощности излучения может приводить к значительному изменению длительности, скорости изменения, формы, энергии и других параметров сигнала. И, следовательно, к заметному изменению вероятности обнаружения при фиксированном алгоритме обработки и принятия решения, так как будет невозможно обеспечить оптимальный в соответствии с тем или иным критерием прием и обработку сигнала от нарушителя в таких условиях.

Это менее критично, когда цель полностью находится в пределах одной элементарной чувствительной зоны. Но это обычно бывает лишь при движении цели поперек диаграммы направленности. И то не во всех случаях. При радиальном перемещении ситуация может кардинально меняться [7]. В большей степени сказанное относится к ситуации обнаружения квалифицированного нарушителя, когда голова или

ее часть может являться основным источником ИК излучения [6].

Поэтому можно рекомендовать исследование целесообразности и практической возможности использования адаптивных алгоритмов обработки сигнала и принятия решения, в частности, использования разных алгоритмов или разных их параметров для различных моделей нарушителей, а также возможность адаптивной корректировки формы диаграммы направленности.

Заключение

На основании приведенных рассуждений можно отметить, что для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Повысить информативность формируемого сигнала, что может быть достигнуто, в частности, использованием многоэлементного пироэлектрического приемника с независимыми выходами.

2. Использовать многоканальную обработку с различными критериями оптимальности для разных каналов обработки в соответствии с различными моделями нарушителей.

3. Использовать возможность формирования различных диаграмм направленности для разных каналов обработки за счет применения многоэлементных пироэлектрических приемников.

Все это позволит повысить вероятность обнаружения квалифицированного нарушителя.

Библиографический список

1. Волхонский, В. В. Извещатели охранной сигнализации / В. В. Волхонский. 4-е изд., доп. и перераб. СПб. : Экополис и культура, 2004. 272 с.

2. EN 50131-2-2 Alarm systems — Intrusion systems. Part 2-2: Requirements for passive infrared detectors. Approved 2004-05-04. CENELEC. 38 p.

3. ГОСТ Р 50777-2014. Извещатели пассивные оптико-электронные инфракрасные для закрытых помещений и открытых площадок. Общие технические требования и методы испытаний. Введ. 11.11.2014. М. : Стандартинформ, 2014. 36 с.

4. Волхонский, В. В. Методика оценки вероятности обнаружения несанкционированного проникновения оптико-электронным извещателем / В. В. Волхонский, П. А. Воробьев // Науч.-техн. вестн. информ. технологий, механики и оптики. 2012. № 1(77). С. 120–123.

5. Воробьев, П. А. Модель и метод анализа вероятности обнаружения нарушителя пассивными инфракрасными извещателями систем физической защиты объектов информатизации : дис. ... канд. техн. наук / П. А. Воробьев. СПб. : НИУ ИТМО, 2015. 139 с.

6. Билиженко, И. В. О соответствии стандартных целей для пассивных инфракрасных извещателей реальным нарушителям / И. В. Билиженко, В. В. Волхонский, Р. Р. Трапш // Вестн. Воронеж. ин-та МВД России. 2014. № 4. С. 155–164.

7. Билиженко, И. В. Анализ распределения уровня инфракрасного излучения нарушителя для задач обнаружения квалифицированного проникновения / И. В. Билиженко, В. В. Волхонский, Р. Р. Трапш // Комплексная защита объектов информатизации и измерительные технологии : сб. науч. тр. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. СПб., 2014. С. 3–7.

Сведения об авторах

Билиженко Игорь Владимирович — аспирант Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург. Jsisol19@gmail.com

Волховский Владимир Владимирович — доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург. volkhonski@mail.ru

---

I. V. Bilizhenko, V. V. Volkhonsky

DEVELOPMENT FEATURES OF PASSIVE INFRARED SENSORS WITH ADVANCED DETECTION CHARACTERISTICS

The model of qualified intruder with its features was reviewed. The impact of using different types of disguise and directions on detection probability was described. Analysis of infrared radiation level for different penetration conditions was performed. Authors describe major restrictions and measures for creating device with enhanced detection characteristics. Also authors give recommendations for practicability of different algorithms and directivity pattern forms for different types of intruders.

ББК Ч617я51
УДК 002:004.4

Н. М. Боргест

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ИЗДАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ВЫПУСКА НАУЧНОГО ЖУРНАЛА «ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ»

Рассматривается опыт применения информационных технологий и систем при издании научного журнала «Онтология проектирования». Показаны проблемы идентификации научного продукта в информационном поле. Приведены результаты наукометрического самоанализа журнала. Намечены пути продвижения журнала на медийном научном пространстве.

Введение

Информационные технологии продолжают активно использоваться в издательской деятельности и де-факто стали доминирующими в этой предметной области. Офисные редакторы, файловые системы, Интернет, базы данных (БД), издательские системы — это далеко не полный перечень информационной компьютерной поддержки издательской деятельности. В статье представлены результаты применения информационных технологий при издании научного журнала «Онтология проектирования» [1; 2].

Выбор информационного носителя

При всей очевидности известных на сегодня носителей информации: бумажный и электронный, для средства массовой информации (СМИ), а научный журнал также относится к СМИ, тем не менее при регистрации СМИ необходимо определиться с типом носителя. Это необходимо как при регистрации в Роскомнадзоре, так и при получении Международного стандартного номера для периодических изданий — ISSN (International Standard Serial Number). Несмотря на кажущуюся архаичность бумажного носителя, лишь только он позволяет знакомиться с новинками добытых научных знаний при отсутствии источников электроэнергии. Кроме того, хотя материальный носитель информации всегда и выигрывает в «демонстрационном» споре, но проигрывает в финансовом, поскольку в нынешних условиях подготовки журнала электронную версию всё равно приходиться делать.

Язык журнала

Язык, на котором планируется издавать журнал, также должен быть заявлен создателями уже при регистрации. Фактическое доминирование английского языка в научной сфере обязывает учредителей учитывать эту важную часть предстоящей работы и предусмотреть в бюджете редакции специалистов со знанием языка в избранной предметной области. В настоящее время большинство международных журналов издаются на английском или как минимум имеют английскую титульную часть статей (название, аннотация, ключевые слова, список источников, а также источники финансирования публикуемых работ или благодарности поддержки этих работ).

Проблемы идентификации

Одна из серьезных проблем научного поиска — это проблема упорядочивания и структурирования информации. До сих пор нет принятого и всеми используемого стандарта по оформлению списка источников (reference). Это касается как самого порядка источников в списке (алфавитный, по мере встречаемости, в сносках и др.), так и в порядке и формате описания самих источников. Попытка унифицировать источники через DOI (Digital Object Identifier) — уникальный идентификатор цифрового объекта (например, публикации) — решает только часть проблемы.

Базы данных журналов

В настоящее время созданы и поддерживаются десятки и сотни международных, региональных и отраслевых БД, в которых хранятся как полнотекстовые издания, так и только их титульная часть. В России наиболее известна БД — научная электронная библиотека — eLibrary.ru [3]. В этой БД число наименований журналов — 53 097, из них российских журналов — 12 748. Число российских журналов, индексируемых в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ),— 5 353, из которых 1 744 включены в Перечень ВАК [4].

Среди международных баз данных наиболее престижными считаются американская БД Web of Scince Core Collection (WoS) издательства «Томсон Рейтерс» (Thomson Reuters) — политематическая реферативно-библиографическая и наукометрическая БД [5; 6] и европейская реферативная БД Scopus издательской корпорации «Эльзевир» (Elsevier) [7]. В WoS около 12 000, а в Scopus около 20 000 реферируемых научных журналов.

На рис. 1 для примера показан трекинг прохождения оценки журнала «Онтология проектирования» в Scopus.

Index Copernicus (Польша) — международная наукометрическая БД, включающая индексирование, ранжирование и реферирование журналов, также является платформой для научного сотрудничества и выполнения совместных научных проектов [8].

Журнал «Онтология проектирования» успешно прошел процедуру оценки ICI, включен в Основной

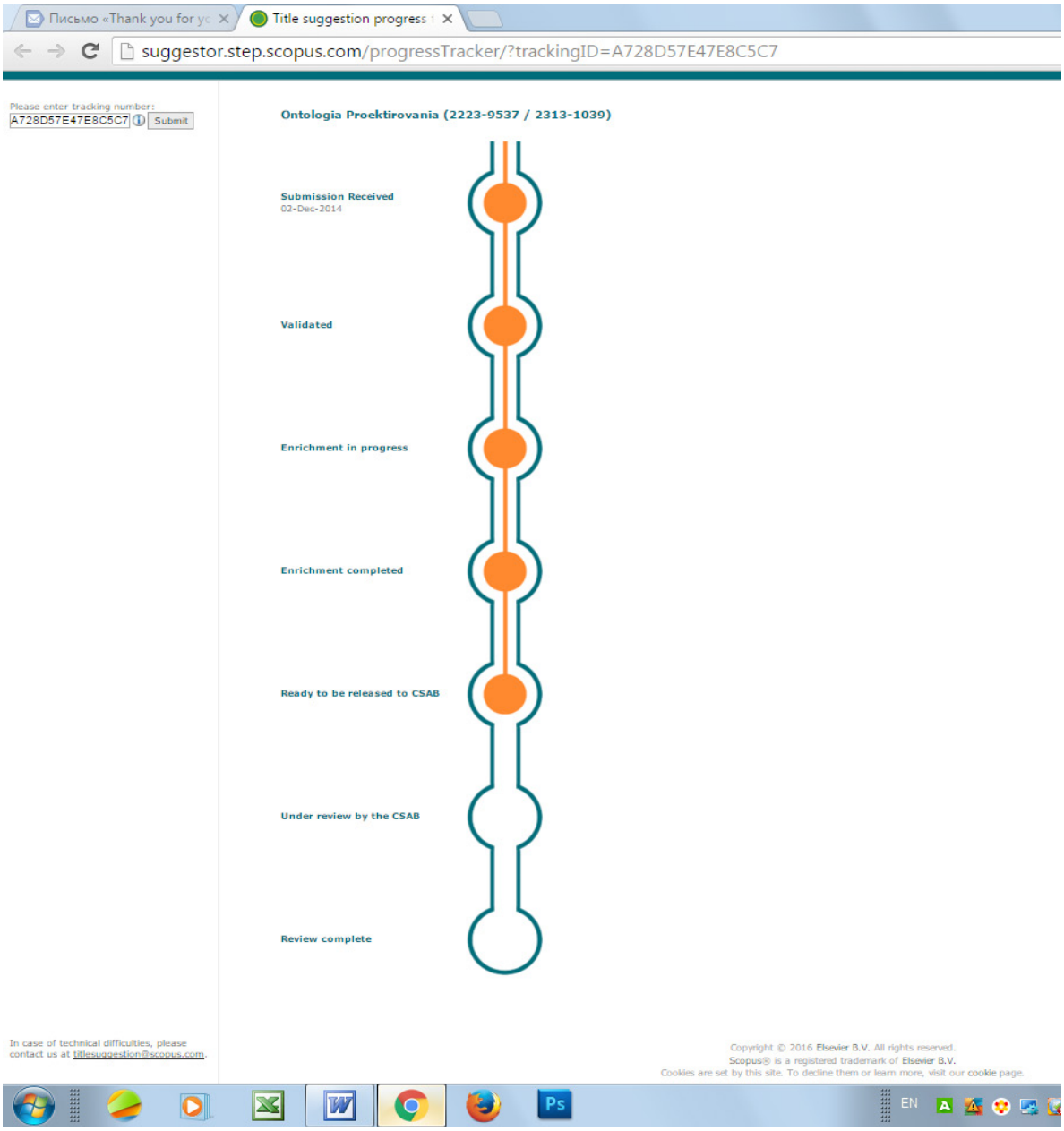


Рис. 1. Трекинг прохождения оценки журнала «Онтология проектирования» в Scopus (актуально на 10.01.2016)

список 2014 (ICI Journals Master List 2014) и получил значение индекса «Коперник» (Index Copernicus Value) ICV 2014 = 67,46 п. По этому показателю журнал занял 1 328-е место из 6 286 в Основном списке журналов за 2014 г.

Включение изданий в эти и другие БД — залог доступности опубликованных результатов исследований для других исследователей и поэтому хорошо стимулируется. Чем выше уровень и авторитетнее БД, тем тщательнее отбор и выше требования к журналам-претендентам.

География журнала

Информационные технологии, в частности Интернет, и символьный язык, принятый научной общественностью, позволили существенно расширить географию журнала. Поэтому формирование редакционной коллегии, издательского портфеля, читательской аудитории уже не требует десятилетий для раскрутки журнала. Большое количество научных конференций и семинаров во многом способствует узнаваемости и повышению рейтинга СМИ. Но все перечисленные факторы позволяют многим браться за издательское дело, создавая, с одной стороны, здоровую конкуренцию, с другой стороны, «засоряя» информационное поле некачественной продукцией. Не секрет, что от 5 до 20 % ведущих реферируемых научных БД ежегодно обновляются за счёт избавления от изданий, не удовлетворяющих высоким требованиям этих БД.

На рис. 2 приведена география авторов опубликованных статей в журнале «Онтология проектирования», а рис. 3 показывает научный состав авторов.

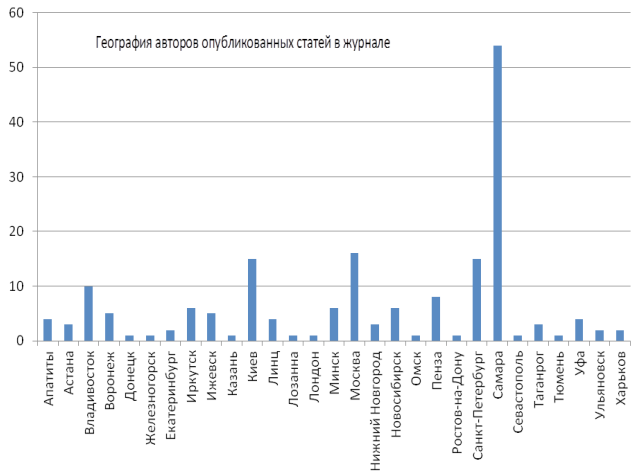


Рис. 2. География авторов опубликованных статей в журнале «Онтология проектирования» (актуально на 30.09.2015)

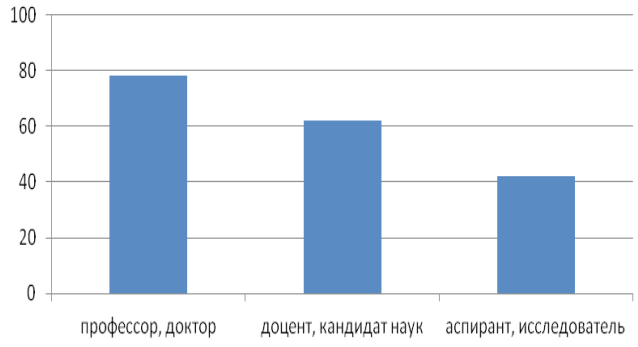


Рис. 3. Научный статус авторов опубликованных статей в журнале «Онтология проектирования» (актуально на 30.09.2015)

Информационные технологии, используемые при подготовке и выпуске изданий

Современное издание научных журналов — это хорошо компьютеризированное производство [9; 10]. Оно включает в себя подготовку текста, редактуру, корректуру, верстку, предпечатную подготовку, хранение архивов, переписку с авторами, членами редколлегии и рецензентами, форматирование и размещение в Интернете на сайтах журнала и в реферируемых БД и БД общего доступа. Помимо издательских комплексов, почтовых программ и СУБД, используются программы для наукометрического самоанализа.

Показатели

Стремление сопоставить, сравнить, оценить как сами СМИ, так и субъектов, порождающих информацию, естественно, приводит к необходимости выработки критериев. Широко известны такие наукометрические показатели журналов, как импакт-фактор, и авторов, как критерий Хирша.

Например, в РИНЦ для журнала «Онтология проектирования» на сегодня пока известны значения наукометрических показателей для 2013 г., для 2014 г. — лишь предварительные результаты. Так, журнал занял 3-е место в рейтинге SCIENCE INDEX за 2013 г. по тематике «Кибернетика». Ранжирование журналов в рейтинге SCIENCE INDEX осуществляется на основе показателя, рассчитываемого по методике, учитывающей тематическое направление журнала, уровень самоцитирования и другие факторы. Место журнала в общем списке всех журналов в рейтинге SCIENCE INDEX в 2013 г. 430-е и 669-е в 2014 г. Значения двухлетнего импакт-фактора РИНЦ – 0,710 (2013), 0,720 (2014), без самоцитирования соотвественно — 0,484 (2013) и 0,480 (2014), с учетом цитирования из всех источников — 0,742 (2013) и 0,960 (2014).

Индекс Херфиндаля — Хиршмана рассчитывается как сумма квадратов процентных долей количества статей, опубликованных различными организациями, по отношению к общему количеству статей в журнале в текущем году, в которых организация идентифицирована. Чем больше различных организаций, авторы из которых публикуются в журнале, и чем равномернее распределены между ними публикации, тем меньше величина этого показателя. Максимальное значение равно 10 000 и достигается, когда в журнале публикуются авторы только из одной организации. Значения индекса Херфиндаля по организациям авторов для журнала «Онтология проектирования» по годам — 1 667 (2011), 1 040 (2012), 1 040 (2013), 802 (2014) — показывают положительную динамику расширения географии журнала.

Среди наиболее цитируемых статей в журнале стоит выделить статьи П. О. Скобелева [11] — 19 цитирований, Н. М. Боргеста [12] — 14 цитирований, С. А. Пиявского [13] и Н. М. Боргеста [14] по 13 цитирований.

Заключение

Информационная компьютерная поддержка и имеющиеся у учредителей СМИ финансовые ресурсы никогда не будут решающими для устойчивого выпуска качественной научной продукции. Главными, как и в любом деле, являются люди, коллектив единомышленников, их энергия, потенциал, внутренняя мотивация и убежденность в правильности своих начинаний.

Библиографический список

1. Боргест, Н. М. Введение в онтологию проектирования / Н. М. Боргест // 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. 61–63.

2. Онтология проектирования [Электронный ресурс] : науч. журн. URL: http://agora.guru.ru/display.php?conf=scientific_journal

3. eLIBRARY.RU : науч. электрон. б-ка. URL: http://elibrary.ru

4. Высшая аттестационная комиссия (ВАК) при Министерстве образования и науки Российской Федерации : офиц. сайт. URL: http://vak.ed.gov.ru/87

5. Сайт издательства «Томсон Рейтерс». URL: http://thomsonreuters.com/en/products-services/scholarly-scientific-research/scholarly-search-and-discovery/web-of-science-core-collection.html

6. Русская версия сайта издательства «Томсон Рейтерс». URL: http://thomsonreuters.ru/products/web-of-science-4/

7. Сайт реферативной базы данных Scopus. URL: http://www.scopus.com

8. Сайт базы данных «Коперник». URL: http://www.indexcopernicus.com

9. Боргест, Н. М. Автоматизация документооборота при издании научного журнала «Онтология проектирования» / Н. М. Боргест, Б. К. Келдибаев // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений : тр. Второй междунар. конф., 18–21 мая, 2014. Уфа, 2014.

10. Боргест, Н. М. Информатизация офиса научного журнала на основе онтологий / Н. М. Боргест, С. В. Смирнов, Б. К. Келдибаев // Проблемы управления и моделирования в сложных системах (ПУМСС-2014, Самара) : тр. XVI Междунар. конф. Самара : Самар. науч. центр РАН, 2014. С. 394–401.

11. Скобелев, П. О. Онтологии деятельности для ситуационного управления предприятиями в реальном времени / П. О. Скобелев // Онтология проектирования. 2012. № 1 (3). С. 6–38.

12. Боргест, Н. М. Научный базис онтологии проектирования / Н. М. Боргест // Онтология проектирования. 2013. № 1 (7). С. 7–25.

13. Пиявский, С. А. Два новых понятия верхнего уровня в онтологии многокритериальной оптимизации / С. А. Пиявский // Онтология проектирования. 2013. № 1 (7). С. 65–85.

14. Боргест, Н. М. Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщение / Н. М. Боргест // Онтология проектирования. 2013. № 3(9). С. 9–31.

Сведения об авторе

Боргест Николай Михайлович — кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева (национального исследовательского университета), старший научный сотрудник Института проблем управления сложными системами РАН, выпускающий редактор научного журнала «Онтология проектирования». borgest@yandex.ru

---

N. M. Borgest

INFORMATION SUPPORT PUBLICATIONS ON THE EXAMPLE OF RELEASE SCIENTIFIC JOURNAL “ONTOLOGY OF DESIGNING”

Experience in the use of information technologies and systems for the publication of the scientific journal “Ontology of designing” is considered. Problems identifying scientific product in the information field are shown. The results of scientometric introspection scientific journal are listed. Ways to promote the scientific journal on the media space are planned.

ББК В187
УДК 519.76

Д. С. Ботов, Ю. Д. Кленин

ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕРЫ СЕМАНТИЧЕСКОЙ БЛИЗОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Предлагается подход к решению проблемы семантического анализа результатов обучения. Результаты обучения являются короткими текстами, состоящими из глаголов действия и терминов предметной области из различных областей человеческого знания. С учетом специфики представления результатов обучения рассмотрены существующие подходы к определению семантической близости, проанализированы различные способы использования внешних баз знаний и выбран ряд наиболее подходящих методов.

Введение

В условиях развития в России студентоориентированного подхода к разработке образовательных программ, опирающегося на формулирование ожидаемых результатов обучения (learning outcomes) в их гармоничной увязке с компетенциями новых образовательных стандартов (ФГОС ВО 3+) и профессиональных стандартов, все более важным становится создание средств интеллектуальной поддержки, позволяющих повысить эффективность разработки новых или актуализации существующих образовательных программ и индивидуальных образовательных траекторий [1].

При решении комплекса задач поиска и анализа разнородного образовательного контента необходимо определить подход к сопоставлению результатов обучения разного уровня (от отдельных тем, образовательных курсов до образовательных программ университетов) через определение меры семантической близости. Применение данного подхода на практике позволит эффективно в автоматизированном режиме подбирать, анализировать и синтезировать актуализированный образовательный контент исходя из заданного пользователем набора результатов обучения.

Понятие результата обучения и особенности описания

Результаты обучения — это формулировки того, что, как ожидается, будет знать, понимать и/или будет в состоянии продемонстрировать обучающийся после завершения процесса обучения [16]. Они состоят из:

– **action verb** — глагол, означающий действие, которое должен продемонстрировать обучающийся (например: знать, применять на практике, сопоставлять, анализировать, создавать и т. д.);

– **learning statement** — формулировка, состоящая из терминов предметной области, которая определяет, что из изученного будет продемонстрировано обучающимся в результате;

– **criterion** — критерии — дополнительные формулировки, определяющие условия в которых будет оцениваться выполняемое обучающими действие [17].

Текстовое представление каждого конкретного результата обучения имеет следующие особенности:

1) текст небольшой длины, состоящий всего из нескольких фраз, включающих в себя, как правило, не более двух десятков слов;

2) использование глаголов действия (Action Verb) из ограниченного списка слов, определяемых различными таксономиями образовательных целей [6; 7] вне зависимости от предметной области образовательной программы или курса;

3) использование терминов в Learning statement и Criterion из областей знания, определяемых предметной областью образовательной программы или курса. При этом используемые термины могут быть узкоспециализированы и редки в употреблении.

Данные особенности накладывают дополнительные требования на используемые алгоритмы и методы интеллектуального анализа текста (Text Mining). Поэтому следует отдельно рассматривать анализ семантики глагольной и терминологической составляющих результатов обучения с целью определения меры их семантической близости.

Анализ семантики терминологической составляющей результата обучения

Для моделирования семантики терминологической составляющей результатов обучения (Learning statement, Criterion) предлагается использовать векторную модель, в которой текст представляется в виде разреженного числового вектора в многомерном пространстве, измерениями которого являются какие-либо особенности текста. В большинстве случаев в качестве данных особенностей используются входящие в текст слова, поэтому данная модель имеет альтернативное название «Bag of Words» (дословно «мешок слов») (далее — модель BoW) [15]. Данная модель позволяет свести операции по обработке и анализу текста к операциям над векторами, значительно ускоряя обработку данных. Одной из наиболее часто используемых статистических мер для построения вектора является TF-IDF [2].

Существует несколько проблем применения модели BoW. Во-первых, использование BoW приводит к полному исключению синтаксической структуры текста из рассмотрения. Во-вторых, при решении конкретной задачи моделирования результатов обучения возникает другая проблема, которая заключа-

ется в небольших размерах моделируемых текстов при значительных количествах различных терминов определенной предметной области. Это означает, что смоделированные вектора будут крайне сильно разрежены и могут не иметь ни единого общего слова- термина, даже если они являются полными синонимами — так называемая проблема семантического разрыва (semantic gap).

В силу упомянутой разреженности текстовых векторов корпуса, анализ смоделированных данных в их чистом виде будет бесполезен [4]. Для решения данной проблемы используются методы внесения в короткие тексты семантических данных извне — «обогащения» (enrichment). Короткий текст результата обучения при семантическом моделировании можно обогатить как дополнительной информацией о терминах предметной области, так и другой информацией, содержащейся в анализируемых образовательных программах и курсах — например, тематика, предмет, учебная организация, преподаватель и т. д.

Обогащение коротких текстов можно осуществить путем использования внешних корпусов и онтологий [5], содержащих семантическую информацию о терминах предметной области.

Обзор возможности применения корпусов текстов и онтологий для обогащения семантики терминологической составляющей

Рассмотрим подробнее возможности применения различных источников для обогащения коротких формулировок.

WordNet — это лексическая база данных, содержащая слова различных тематик с их краткими определениями и отображающая отношения и связи с другими словами в базе [11]. WordNet позволяет использовать данные о взаимосвязях понятий между собой при определении близости объектов, однако непосредственное дополнение модели BoW новыми словами будет неэффективно вследствие сжатости и краткости даваемых определений. Кроме того, WordNet может быть сильно ограничен при использовании его для обогащения специализированных текстов, использующих узкоспециализированную, профессиональную терминологию.

Многие текстовые корпуса, такие как Oxford English Corpus или American National Corpus, содержат большие массивы текстов на различную тематику, включая данные, полученные из web, используемые для исследовательских целей, преимущественно в области лингвистики [12; 13]. Основным недостатком данных систем является принцип получаемой информации. Поскольку данные системы ищут употребления слов и словосочетаний в текстах, не являющихся непосредственными определениями или словарными статьями для конкретного термина, то полученные результаты могут оказаться вырванными из контекста или вносить в обогащаемый результат обучения шумовую информацию, слабо отражающую сущность самого термина.

Словарные корпуса представляют собой собрания определений слов по типу обычных словарей. В частности, Oxford Dictionaries базируется на упомянутом выше Oxford English Corpus и предоставляет пользователям широкий функционал по поиску синонимов, переводу слов, поиску примеров употребления, проверки грамотности и т. п. [12]. Словарные корпуса в задачах обогащения коротких текстов страдают от той же проблемы, что и WordNet, — предоставляемые ими определения слишком коротки, однако, в отличие от WordNet, онтологическая иерархия модели полностью или частично утеряна.

Google Ngram Viewer — это система поиска слов и словосочетаний в текстах, собранных сервисом Google Books. По своей сути является очень большим корпусом, оснащенным поисковыми мощностями систем Google. Данные системы имеют общий недостаток с другими текстовыми корпусами — тексты, в которых производится поиск, могут быть недостаточно информативны по отношению к конкретному термину или привносить шумовую информацию.

В работе Е. А. Черниковой [8] в рамках предложенного ею подхода к сравнению образовательных курсов и программ используется WordNet в качестве внешнего источника семантической информации, в основе подхода лежит собственная онтология образовательных курсов, включающая в себя в том числе онтологические концепты результатов обучения. Также собственные онтологии образовательных программ и курсов используются, например, в работах О. Н. Сметаниной [19], С. В. Тархова [18], А. Ю. Ужвы [20] и др. Однако использование собственной онтологии требует решения крайне трудоемкой задачи — разработки средств пополнения и постоянной актуализации базы знаний с учетом непрекращающегося роста количества и качества образовательного контента в среде Интернет.

В отличие от описанных выше работ, учитывая недостатки создания и наполнения собственной онтологии и использования WordNet или иных словарных корпусов в качестве внешних источников, в данном исследовании авторами предлагается использовать открытую базу знаний интернет-энциклопедии Wikipedia в качестве внешнего корпуса текстов для обогащения семантики терминологической составляющей результата обучения.

Wikipedia является бесплатным многопользовательским ресурсом, с большим числом статей, фокусирующихся на конкретных темах. Актуальность статей Wikipedia поддерживается сообществом пользователей. Основным недостатком является свободное редактирование данных Wikipedia пользователями энциклопедии, однако другие пользователи принимают активное участие в контроле за вносимыми изменениями, оперативно нивелируя наносимый статьям вред. В остальном Wikipedia объединяет

в себе лучшие стороны других внешних источников знаний, рассмотренных выше.

Наиболее очевидный способ обогащения коротких текстов — прямое обогащение их векторов модели BoW словами, полученными из связанных с ними более крупных текстов [3]. Поскольку тексты статей Wikipedia достаточно обширны, они позволят в значительной мере обогатить короткий текст дополнительной информацией с помощью данного метода. Иерархичность энциклопедии сродни онтологическим схемам систем типа WordNet с большим количеством дополнительной ссылочной информации, например, ссылки на внешние ресурсы и перекрестные ссылки между статьями.

Институтом системного программирования РАН разрабатывается система Texterra [21] с инструментарием Text Mining, в котором семантика статей Wikipedia используется для улучшения и повышения эффективности поиска и навигации в текстовых базах данных. Существуют также и проекты, совмещающие данные WordNet и Wikipedia для получения расширенных онтологий.

Методы расчета семантической близости с использованием Wikipedia

Рассмотрим две разновидности методов расчета семантической близости концептов Wikipedia — контентные (текстовые) и ссылочные (сетевые) [22; 23].

Контентные (текстовые) методы определяют меры семантической близости, основываясь на текстовом содержимом статей Wikipedia. В данной категории методов термины (концепты) и тексты соответствующих статей, как правило, представляются в виде векторов в пространстве терминов.

В простейшем случае может быть определена косинусная мера близости векторов статей, соответствующих концептам, на основе широко используемой статистической метрики TF-IDF (term frequency — inverse document frequency), предложенной Джонсом [2]. Применение TF-IDF позволяет определить значимость слова в векторе для определения общего смысла текста, основываясь на частоте употребления данного слова в конкретном тексте и во всем наборе текстов.

Для повышения качества анализа текстов используются более сложные методы семантического анализа: латентный (LSA) и явный (ESA).

Латентный семантический анализ (LSA), представленный в работе [25], применяется в задачах поиска, классификации и фильтрации информации. Основная идея заключается в том, что совокупность всех контекстов, в которых встречается искомое слово, определяет множество ограничений, которые позволяют определить семантическую близость слов и множеств слов между собой. Основные недостатки заключаются в смешении понятий семантического подобия и семантической связности, и требуется большое количество документов достаточного объема, большой размер характеристических векторов.

Явный семантический анализ (Explicit Semantic Analysis, ESA) [14] представляет собой алгоритм, обучающийся на предложенной ему базе знаний статей Wikipedia, а затем применяющий полученную информацию для определения близости подаваемых ему на вход слов и текстов. В процессе обучения ESA составляет инвертированный индекс, в котором каждому слову соответствует набор концептов, к которым оно относится, и их весов, что позволяет сразу избавиться от всех малозначащих связей между словами и концептами, отбрасывая те, вес которых ниже заданного порога.

Обучившись на базе корпуса Wikipedia, ESA может производить поиск концептов в текстах. Принимая входной текст как множество входящих в него слов $T = \{w_i\}$ и сопоставляя каждому слову его TF-IDF вес v_i, алгоритм ESA составляет вектор V семантической интерпретации текста T. Для этого ESA отображает слова текста в пространство концептов Wikipedia C, используя упомянутые выше инвертированные индексы:

$$V = \left\langle \sum_{w_i \in T} v_i \cdot k_j \right\rangle,$$

где k_j является весом концепта c_j в инвертированном индексе слова w_i.

Таким образом, на выходе получаются вектора, представляющие текст как взвешенный набор концептов, а не BoW. Затем семантическая близость рассчитывается как косинусное расстояние для полученных векторов V.

Ссылочные (сетевые) методы основаны на представлении концептов вершинами в графе и учитывают не только частотные характеристики слов, но и характеристики путей между понятиями, их положение в иерархии, в частности ближайшие общие понятия. Ссылки могут быть разных видов: обычные внутритекстовые ссылки, ссылки на основные статьи, категорийные ссылки, ссылки из списка тематически связанных статей и т. д. [22].

Существует ряд локальных ссылочных метрик, использующих структурную информацию внешних баз знаний (применимы не только к Wikipedia). Перечислим некоторые из них: кратчайший путь, вычисляемый как величина, обратная длине кратчайшего пути в графе; мера близости Резника (Resnik), основывающаяся на общей для двух понятий информации, содержащейся в их общих иерархических предках; меры близости Лин (Lin) и Джианг — Конрата (Jiang — Conrath), учитывающие влияние и сходств, и различий понятий на семантическую дистанцию между ними; мера Ликок — Чодороу (Leacock — Chodorow), нормализующая кратчайший путь относительно размеров графа; мера Ву — Палмер (Wu — Palmer), использующая глубины понятий и их

ближайшего общего предка; мера Seco et al., использующая число гипонимов для определения объёма информационного контента в понятии.

Меры на базе Wikipedia

Существует ряд подходов к определению мер близости понятий, использующих дополнительную информацию, содержащуюся в Wikipedia:

1) Wikipedia Link-based Measure [9] использует при определении близости двух понятий число гиперссылок на страницах энциклопедии, ведущих на страницы данных понятий:

$$sr(a,b) = \frac{\log(\max(|A|,|B|)) - \log(|A \cap B|)}{\log(|W|) - \log(\min(|A|,|B|))},$$

где множества *A, B* и *W* соответствуют множеству страниц, содержащих ссылку на страницу понятия *a*, множеству страниц, содержащих ссылку на понятие *b*, и множеству всех страниц Wikipedia;

2) упомянутая выше система Texterra при разрешении лексической многозначности применяет меру близости Дайса (Dice) [21]:

$$sim_{Dice}(x,y) = \\ = \frac{\sum_{z \in N(x) \cap N(y)} (w(x,z) + w(z,y))}{\sum_{z \in N(x)} w(x,z) + \sum_{z \in N(y)} w(z,y)},$$

где $N(c)$ определяет множество страниц, связанных ссылкой с концептом *c* в графе ссылок Wikipedia, а $w(a, b)$ — это вес ссылки от *a* к *b*. Критикой данного метода является ограниченность поиска только первыми окрестностями вершин;

3) «WikiRelate!» [10] использует как текстовую, так и ссылочную информацию энциклопедии для вычисления близости понятий. Данный алгоритм совместно использует сетевые меры близости Ликок—Чодороу, Ву — Палмер, модифицированную (Seco et al.) меру информационной близости Резника и меру Extended Lesk для определения близости текстовой информации;

4) WikiWalk [24] комбинирует контентный и глобальный ссылочный подход, используя метод случайного блуждания в графе. Паре концептов сопоставляются ESA-вектора соответствующих им статей. Затем на каждом из них как на начальном распределении запускается алгоритм Personalized PageRank, рассчитывающий для каждой вершины графа вектор вероятностей переходов на другие страницы. Результирующие распределения сравниваются с помощью косинусной меры для получения оценки близости. Метод имеет существенно бóльшую временну́ю сложность, чем локальные ссылочные меры, однако дает лучшее качество определения семантической близости концептов.

Сопоставление с другим подходом к анализу терминологической составляющей результатов обучения

В работе Е. А. Черниковой, в рамках предложенного ею подхода к сравнению образовательных курсов, используется сочетание следующих мер при определении семантической близости результатов обучения: расстояние Левенштейна, мера Ву—Палмер, применённая поверх структуры онтологии WordNet, дистрибутивная мера близости DISCO2 [13], основывающаяся на идее взаимосвязи семантической близости понятий и близости распределения слов в текстах.

В отличие от работы Черниковой для анализа терминологической составляющей результатов обучения с целью повышения точности оценки предлагается использовать сочетание контентной меры (алгоритм ESA как наиболее эффективный) и ссылочной меры семантической близости.

Анализ семантики глаголов действия с использованием таксономии образовательных целей

В широко применяемой в сфере образования таксономии образовательных целей Блума (Bloom) [6] выделяется 6 категорий действий в пространстве познания: знание (Knowledge), понимание (Comprehension), приложение (Application), анализ (Analysis), синтез (Synthesis) и оценка (Evaluation). Кратволь (Krathwohl) в своей работе [7] переработал и изменил порядок следования категорий таксономии Блума и уточнил их наименование: вспоминание (Remembering), понимание (Understanding), приложение (Applying), анализ (Analyzing), оценка (Evaluating) и синтез (Creating или Synthesizing). Модифицированная таксономия Кратволя позволяет с большей точностью классифицировать результаты обучения исходя из используемых глаголов действий.

Модифицированная таксономия Кратволя применена для определения семантической близости глаголов действия в работе Е. А. Черниковой. Черникова вносит дополнительные изменения в таксономию и представляет её в виде двумерной матрицы, имеющей категории пространства познания в качестве одного измерения и сложность описываемого глаголом действия в качестве другого.

Черникова затем вводит меру близости глаголов действия:

$$sim_{CAVe} = \frac{\max(d_{EK}) - d_{EK}(AV_i, AV_j)}{\max(d_{EK})},$$

где d_{EK} — дистанция между глаголами в матрице таксономии, а $\max(d_{EK})$ — максимальная дистанция в матрице таксономии.

Используемая при расчетах дистанция d_{EK} — это нормализованное евклидово расстояние, содержащее коэффициент веса *w*, принимающий целочисленные значения, большие 6:

$$d_{EK}(AV_i, AV_j) = \\ = \sqrt{w^2(CPD_i - CPD_j)^2 + (C_i - C_j)^2},$$

где *CPD* и *C* — это измерения в матрице — категория пространства познания и сложность действия соответственно.

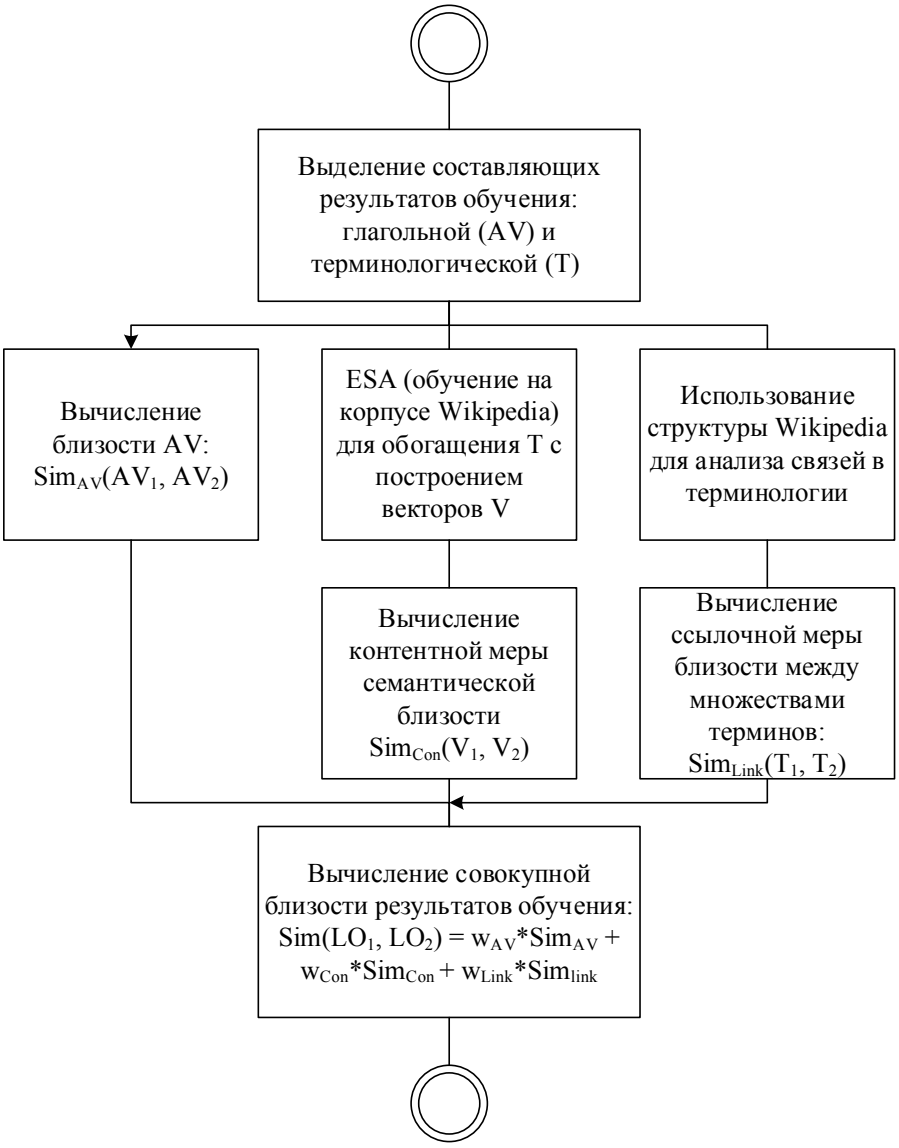
Ограничения на значения коэффициента выведены из нормализующего неравенства, требующего, чтобы максимальное расстояние между глаголами внутри одной категории пространства познания всегда было меньше минимального расстояния между глаголами в разных категориях.

Разработка алгоритма определения меры семантической близости результатов обучения

Схема разрабатываемого алгоритма для определения меры семантической близости для заданной пары результатов обучения представлена на рисунке.

На первом этапе предлагается разделить глагольную и терминологическую составляющую результата обучения для их последующей независимой обработки. Семантическая близость глагольных составляющих может быть вычислена посредством меры, предложенной Черниковой, в то время как для анализа терминологической составляющей предлагается использовать Wikipedia в качестве внешнего корпуса для обогащения короткой формулировки результата обучения путем отображения используемых терминов на содержание соответствующих статей Wikipedia. Для повышения точности расчета семантической близости планируется использовать сочетание контентных и ссылочных мер семантической близости.

Для расчета контентной меры предлагается использовать наиболее эффективный алгоритм семантического анализа — ESA, с построением характеристических векторов концептов обогащенного текста с последующим определением косинусного расстояния между векторами. Для расчета ссылочных мер близости предлагается экспериментально определить наиболее оптимальный алгоритм из рассмотренных.



Алгоритм вычисления близости результатов обучения

В итоге мера семантической близости для пары результатов обучения будет рассчитывается как средневзвешенная сумма значений меры семантической близости глагольной составляющей и контентной и ссылочной мер близости терминологической составляющей. Весовые коэффициенты определяются экспериментально.

Заключение

Дальнейшие шаги исследования включают в себя экспериментальную оценку качества предложенного подхода, выбор оптимальных алгоритмов оценки ссылочных мер близости терминов в аспекте точности и полноты определения мер семантической близости результатов обучения по сравнению с экспертными оценками на подготовленном корпусе образовательных программ российских и зарубежных университетов.

Отдельно стоит оценить временну́ю сложность рассматриваемых алгоритмов для различных входных данных.

Также необходимо выбрать подход к решению проблемы лексической многозначности при отражении термина из формулировки результата обучения на корпус статей Wikipedia.

После проведенных экспериментов на основании данного подхода к определению меры семантической близости результатов обучения будут определяться меры семантической близости образовательного контента на разных уровнях детализации (от отдельных тем до образовательных курсов или программы в целом), а также меры семантической близости результатов обучения, компетенций (из требований образовательных стандартов) и профессиональных требований к знаниям, навыкам и умениям (из требований профессиональных стандартов и требований вакансий на рынке труда).

Библиографический список

1. Botov, D. Educational Content Semantic Modelling for Mining of Training Courses According to the Requirements of the Labor Market / D. Botov, J. Klenin // Proceedings of the 1st International Workshop on Technologies of Digital Signal Processing and Storing. 2015. P. 214–218.
2. Jones, K. S. A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval / K. S. Jones // J. of Documentation. 1972. № 28. P. 11–21.
3. Banerjee, S. Clustering short texts using Wikipedia / S. Banerjee, K. Ramanathan, A. Gupta // Proceedings of the 30th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM, 2007. P. 787–788.
4. Phan, X.-H. Learning to classify short and sparse text & web with hidden topics from large-scale data collections / X.-H. Phan, L.-M. Nguyen, S. Horiguchi // Proceeding of the 17th international conference on World Wide Web. ACM, 2008. P. 91–100.
5. Urena-Lopez, L. Integrating linguistic resources in TC through WSD / L. Urena-Lopez, M. Buenaga, J. Gomez // Computers and the Humanities. 2001. № 35 (2). P. 215–230.
6. Bloom, B. Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I: Cognitive domain / B. Bloom, M. Engelhart, E. Furst [et al.]. N. Y. : David McKay Company, 1956.
7. Krathvohl, D. Revising Bloom's Taxonomy / D. Krathvohl // Theory into Practice. 2002. № 41. P. 212–264.
8. Chernikova, E. A Novel Process Model-driven Approach to Comparing Educational Courses using Ontology Alignment / E. Chernikova. 2014.
9. Milne, D. An Effective, Low-Cost Measure of Semantic Relatedness Obtained from Wikipedia Links / D. Milne, I. Witten // Proceeding of AAAI Workshop on Wikipedia and Artificial Intelligence: an Evolving Synergy. 2008. P. 25–30.
10. Strube, M. WikiRelate! Computing Semantic Relatedness Using Wikipedia / M. Strube, S. Ponzetto // Proceeding of the 21st national conference on Artificial intelligence. 2006. Vol. 2. P. 1419–1424.
11. Princeton University: About WordNet [Электронный ресурс]. URL: https://wordnet.princeton.edu
12. The Oxford English Corpus — Oxford Dictionaries [Электронный ресурс]. URL: http://www.oxforddictionaries.com/words/the-oxford-english-corpus
13. Kolb, P. DISCO: A Multilingual Database of Distributionally Similar Words / P. Kolb // Proceedings of KONVENS-2008. Berlin, 2008.
14. Gabrilovich, E. Computing semantic relatedness using Wikipedia-based explicit semantic analysis / E. Gabrilovich, S. Markovitch // Proceedings of the 20th international joint conference on Artifical intelligence. 2007. P. 1606–1611.
15. Aggarwal, C. Mining Text Data / C. Aggarwal, C. Zhai. Springer Publishing Company, 2012.
16. ECTS Users' Guide. Brussels: Directorate-General for Education and Culture, 2005.
17. LEARNING OUTCOMES / S. Lesch, G. Brown College [Электронный ресурс]. URL: http://liad.gbrownc.on.ca/programs/InsAdult/currlo.htm
18. Тархов, С. В. Методологические и теоретические основы адаптивного управления электронным обучением на базе агрегативных учебных модулей / С. В. Тархов. Уфа, 2009. 336 с.
19. Smetanina, O. N. Methodological bases of management of the educational route using intellectual information support : doctoral thesis / O. N. Smetanina. UGATU, Ufa, 2012.
20. Ужва, А. Ю. Автоматизированная разработка онтологической модели предметной области для поиска образовательных ресурсов с использованием анализа текстов рабочих программ [Электронный ресурс] / А. Ю. Ужва. URL: http://www.science-education.ru/107-8324/

21. Texterra: a toolkit for text mining [Электронный ресурс]. URL: www.modis.ispras.ru/texterra

22. Varlamov, M. Computing semantic similarity of concepts using shortest paths in Wikipedia link graph / M. Varlamov, A. Korshunov // Institute for System Programming of the Russian Academy of Sciences.

23. Велихов, П. Меры семантической близости статей Википедии и их применение к обработке текстов / П. Велихов // Информ. технологии и вычисл. системы. 2009. № 1.

24. Yeh, E. WikiWalk: random walks on Wikipedia for semantic relatedness / E. Yeh, D. Ramage, C. Manning, A. Soroa // Proceedings of the 2009 Workshop on Graph-based Methods for Natural Language Processing. 2009. P. 41–49.

25. Deerwester, S. Indexing by Latent Semantic Analysis / S. Deerwester, S. Dumais, G. Furnas [et al.] // J. of the American Society for Information Science. 1990. № 41. P. 391–407.

Сведения об авторах

Ботов Дмитрий Сергеевич — преподаватель кафедры информационных технологий и экономической информатики, заведующий лабораторией проектного обучения Института информационных технологий Челябинского государственного университета. dmbotov@gmail.com

Кленин Юлий Дмитриевич — магистрант 1-го курса Института информационных технологий Челябинского государственного университета. jklen@ya.ru

---

D. S. Botov, J. D. Klenin

APPROACH TO SEMANTIC SIMILARITY MEASURE OF LEARNING OUTCOMES

This paper aims to find a solution to the problem of semantic analysis of learning outcomes. Learning outcomes are short texts, which consist of verb and term components, second of which includes terminology from any area of human knowledge. With these specifics in consideration, we reviewed existing approaches to semantic similarity evaluation, as well as analyzed a variety of algorithms, utilizing external knowledge bases and selected an array of most fitting methods.

ББК О534-02
УДК 629.735:004.4

С. А. Власов, М. Д. Коровин

ОЦЕНКА АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК 3D-МОДЕЛИ САМОЛЁТА С ПОМОЩЬЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОМОЩНИКА ПРОЕКТАНТА

Рассматривается процесс создания интерфейса интеллектуального помощника проектанта, связанного с CAE (Computer-Aided Engineering) системой Ansys, с целью получения комплексной оценки технико-экономических параметров проектируемого самолёта при помощи выполнения аэродинамического расчёта.

На сегодняшний момент мировые производители борются за сокращение сроков и удешевление разработки и производства новых изделий. Одним из основных источников достижения сокращения сроков разработки без ущерба для технических характеристик, качества и надежности изделий является широкое применение средств инженерного анализа и оптимизации конструкции изделий на всех стадиях разработки. В процессе разработки новых изделий, на этапе выбора геометрии, основных размеров, силовой конструкции возникает потребность в исследовании большого количества вариантов конструкции и её параметров. Причем изменение одного геометрического параметра, как правило, влияет на ряд других параметров, изменение которых также должно быть учтено для достижения заданных технических характеристик (например, аэродинамических) изделия в целом. Общее число возможных вариантов расчетной модели и итераций выполнения расчета может оказаться значительным, что требует не только применения новых инструментов инженерного анализа, но и изменений в организации взаимодействия конструкторских и расчетных отделов [1].

Прежде всего при решении сложных расчетно-аналитических задач возрастает роль предварительных «конструкторских» расчетов, которые позволяют быстро найти оптимальное конструктивное решение среди множества различных вариантов. Для таких задач нужен инструмент, знакомый и привычный конструктору, удобный для расчетчика и обладающий необходимым функционалом для инженерного анализа.

В Самарском государственном аэрокосмическом университете удалось создать интеллектуального помощника проектанта в области автоматизации проектирования самолета.

В качестве предметной области для робота-проектанта выбрано предварительное проектирование самолёта. С одной стороны, это сфера деятельности, которая всегда требовала творческих решений, с другой — она достаточно хорошо формализована. Результатом работы робота-проектанта является модель самолёта. Стадия предварительного проектирования включает в себя разработку общей концепции проектируемого объекта, составление моделей элементов объекта, подготовку технико-экономического обоснования, формирование задания на проектирование.

В качестве семантической основы будущей информационной системы (интеллектуального помощника проектанта) выступает тезаурус предметной области, который является интегратором всех баз данных, знаний, процедур и сценариев проектирования. Существенным развитием в формализации проектных работ является математическое моделирование — симбиоз параметризованных геометрических 3D-моделей, статистических и конечно-элементных моделей при оценке аэродинамических нагрузок, прочности и масс конструкции. Особое место в создании робота-проектанта занимает интерфейс, который должен обеспечить конструктора всей необходимой информацией для принятия окончательных решений и «объяснить» при необходимости «свои» рекомендуемые решения. Созданный прототип робота-проектанта в виде демонстрационного образца в сложной, высокотехнологичной и наукоёмкой области позволяет надеяться на реализацию в будущем автоматического проектирования простых конструкций и сокращение времени проектирования традиционных схем артефактов [2].

Описание объекта включает его конструктивную схему, приближённые оценки массы, габаритных размеров и энергопотребления.

В работе использован метод, позволяющий создавать геометрические модели самолета в автоматическом режиме при помощи технологии параметрического моделирования. Любой процесс проектирования как совокупность методов анализа и синтеза включает в себя набор правил и методов. Они могут быть обобщены и реализованы программными средствами в некую свёртку, условно называемую параметрическим шаблоном. При использовании шаблонов проектировщику требуется лишь ввести входные данные. На выходе строятся целые конструкции по заложенным в шаблоне знаниям и алгоритмам решения задач. Шаблоны дают возможность однажды созданные алгоритмы применять повторно к другим построениям, получая при этом новый результат.

Все шаблоны разработаны с использованием языка Visual Basic Script (VBS) и внутреннего языка САПР CATIA.

Интерфейс, описанный в статье, предназначен для предварительного проектирования самолёта на основе мета-модели самолёта (созданного в CAD-системе), базы данных (в настоящее время на базе MS Excel и др.) и расчёта аэродинамики в CAE-системе ANSYS. Обзор интерфейса программы представлен на рис. 1. Интерфейс робота-проектанта состоит из нескольких частей: таймлайна проекта, интерактивного экрана изменения проектных параметров, матрицы проекта и окна предварительного просмотра модели.

Интерактивный экран изменения проектных параметров содержит модули, отвечающие за ввод или коррекцию параметров проекта [3].

Матрица проекта служит для демонстрации пользователю сводной информации по ключевым проектным переменным проекта. Изменяя проектные параметры на текущем этапе сценария, пользователь может в реальном времени контролировать влияние внесенных изменений на результат расчета: в табличной форме в матрице проекта и визуально, на экране предварительного просмотра модели. Предварительный просмотр модели работает напрямую с CAD-системой CATIA. Таймлайн проекта является основой процесса проектирования самолёта. Каждый этап проектирования содержит отдельный вычислительный модуль, контролирующий выполнение некоторого набора проектных процедур.

Пункт «Итоговая модель» позволяет провести аэродинамический расчёт созданной параметрической 3D-модели проектируемого самолёта. Структурная сетка, используемая при расчете, создается при помощи программы ANSYSTM CFD v16.0 [4]. Сетка создается в оконном режиме программы при помощи макроса. Сценарий макроса загружает файл исходной геометрии в формате .stl, созданной ранее в САПР CATIA. Геометрические точки, кривые и поверхности ассоциативно связаны с вершинами, ребрами и гранями. Таким образом, сетка строится в автоматическом режиме. Наконец, ранее сгенерированная сетка автоматически экспортируется в CFD-решатель, используемый для выполнения аэродинамических расчетов [5]. Далее с решателя снимаются скриншоты выполненных расчётов 3D-модели и отображаются в окне робота-проектанта. Проектант может просмотреть графические результаты аэродинамического расчёта: распределения давления, скорости, линии тока, линии равного уровня. На рис. 2 представлена картина распределения линий токов проектируемого самолёта.

Интеграция с расчётным ядром ANSYS позволит провести аэродинамический расчёт созданной параметрической 3D-модели. Это даёт проектанту точную оценку аэродинамических параметров моделии возможность сравнить их с допускаемыми показателями. Интегратор уменьшит временны́е затраты проектанта на расчёт, не будет необходимости отдельно открывать модель, задавать начальные и граничные параметр. Интегратор выполнит это автоматически. В дальнейшем интегратор можно использовать в расчёте конструкции на прочности.

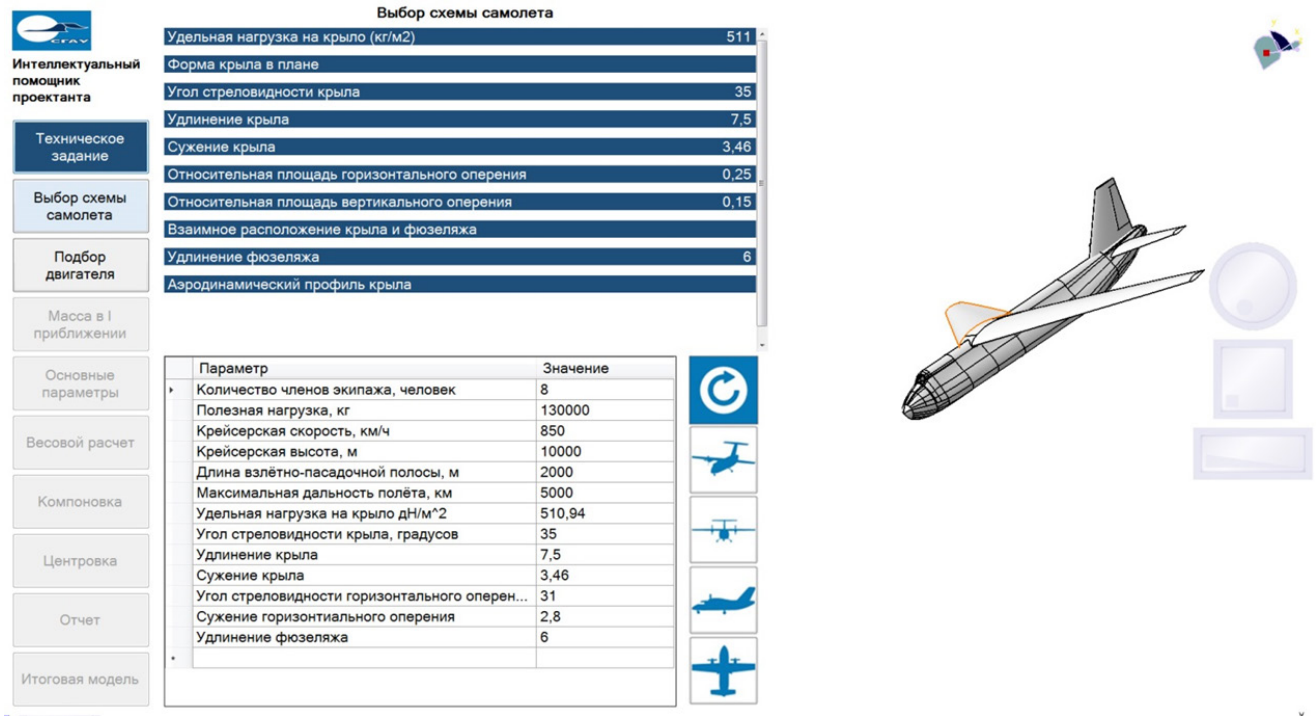


Рис. 1. Интерфейс интеллектуального помощника

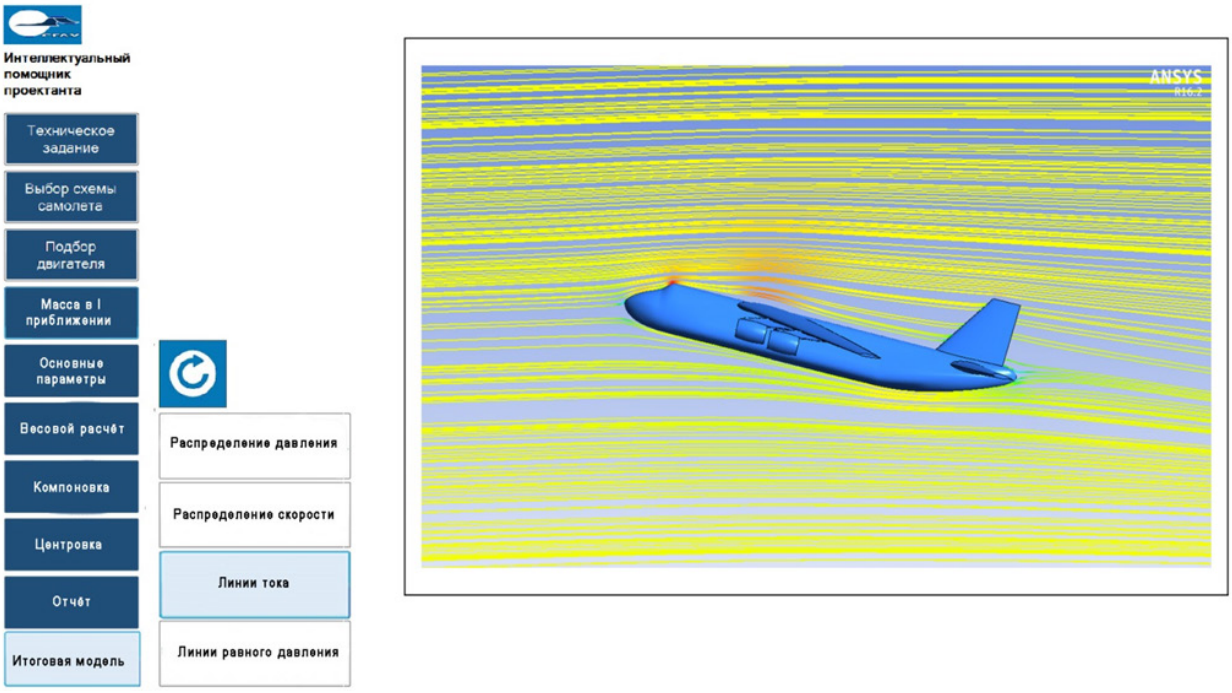


Рис. 2. Линии тока проектируемого самолёта

Библиографический список

1. Кавалеров, А. А. Применение NX CAE для расчетного обоснования выбора геометрии и конструкции крыла / А. А. Кавалеров // CAD/CAM/CAE. 2015. Observer № 1 (93). С. 46–51.
2. Боргест, Н. М. Робот-проектант: на пути к реальности / Н. М. Боргест, С. А. Власов, Ал. А. Громов, Ан. А. Громов, М. Д. Коровин, Д. В. Шустова // Онтология проектирования. 2015. № 4 (18). С. 429–449.
3. Боргест, Н. М. Робот-проектант: фантазия и реальность / Н. М. Боргест // Онтология проектирования. 2012. № 4 (6). С. 73–94.
4. Чигарев, А. В. ANSYS для инженеров : справ. пособие / А. В. Чигарев [и др.]. М. : Машиностроение-1, 2001. 510 с.
5. Бернштейн, А. В. Быстрый метод аэродинамического расчета для задач проектирования / А. В. Бернштейн // Труды ЦАГИ. Вып. 2678. «Применение искусственных нейронных сетей в задачах прикладной аэродинамики». М. : ЦАГИ, 2008.

Сведения об авторах

Власов Сергей Александрович — магистрант Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королёва. savlasoglavv@mail.ru

Коровин Максим Дмитриевич — аспирант Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королёва. maks.korovin@gmail.com

---

S. A. Vlasov, M. D. Korovin

EVALUATION OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF 3D MODEL OF AIRCRAFT USING INTELLIGENT ASSISTANT DESIGNER

Discusses the process of creating the interface of the intelligent assistant designer associated with CAE (Computer-Aided Engineering) Ansys, with the aim to obtain a comprehensive evaluation of technical and economic parameters of the designed aircraft in the aerodynamic calculation.

ББК Ж2-5-05
УДК 004.4'2

Ал. А. Громов, Ан. А. Громов

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОМОЩНИКА ПРОЕКТАНТА

Представлены результаты разработки прототипа интеллектуального помощника проектанта (ИПП), условно названного «Робот-проектант», выполненные в Самарском государственном аэрокосмическом университете имени С. П. Королева, в области автоматизации предварительного проектирования самолета. Основное внимание уделено формализации знаний, проектных процедур и операций в выбранной предметной области. Существенным развитием в формализации проектных работ является математическое моделирование — симбиоз параметризованных геометрических 3D-моделей, статистических и аналитических моделей. Особое место в создании робота-проектанта занимает интерфейс, который должен обеспечить конструктора всей необходимой информацией для принятия окончательных решений и «объяснить» при необходимости «свои» рекомендуемые решения. Созданный прототип робота-проектанта в виде демонстрационного образца в сложной, высокотехнологичной и наукоемкой области позволяет надеяться на реализацию в будущем автоматического проектирования простых конструкций и сокращение времени проектирования традиционных схем артефактов.

1. Введение

Проектирование новых технических систем относится к одному из наиболее сложных видов инженерной творческой деятельности.

Успешное решение проблем повышения технического уровня, сокращения сроков разработки и снижения материальных затрат неразрывно связано с автоматизацией и информационной поддержкой как всех этапов проектирования и создания самолета, так и всего его жизненного цикла, вплоть до списания и утилизации.

Определенные результаты достигнуты и в решении проблемы проектно-конструкторских работ на основе создания систем автоматизированного проектирования (САПР) и конструирования (АСК).

В настоящее время начался переход от математического моделирования и автоматизации отдельных элементов процесса к созданию интегрированных систем автоматизированного проектирования, являющихся важнейшим элементом CALS-технологий (Continious Asquisition and Life-cycle support — постоянная информационная поддержка жизненного цикла – создания и функционирования сложных изделий машиностроения) [1].

Структура системы комплексной автоматизации проектно-конструкторских работ и ее связи с другими автоматизированными системами представлены на рис. 1.

Особенностью разрабатываемой системы является то, что она состоит из информационно увязанных подсистем, моделирующих деятельность структурных подразделений конструкторского бюро (КБ). Это позволит преодолеть психологический барьер на пути внедрения системы, а также обеспечить поэтапный ввод и получение положительного эффекта от внедрения отдельных подсистем. Разумеется, такие подсистемы должны разрабатываться и внедряться как элементы интегральной САПР.

Системный подход предполагает изучение системы и ее поведения как единого объекта, выполняю-

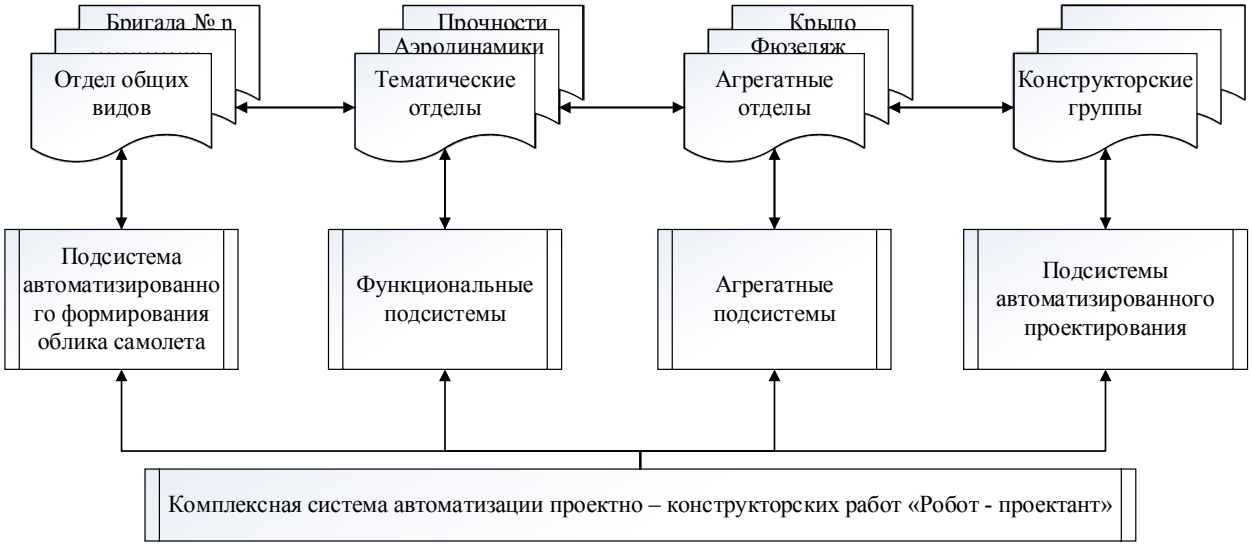


Рис. 1. Структура системы автоматизации проектно-конструкторских работ

щего определенные функции в конкретных условиях. В его основе лежит предположение о возможности расчленения (декомпозиции) сложных систем на самостоятельные подсистемы, что значительно облегчает их изучение.

2. Базы данных и знаний прошлого опыта

Робот-проектант (РП), структурная схема которого представлена на рис. 2, это сложный программно-аппаратный комплекс со множеством взаимосвязанных компонентов, деятельность которого во многом зависит от степени эффективности управления потоками данных.

В действующем прототипе робота-проектанта реализована база данных, работающая совместно с системами поиска и извлечения информации. База знаний содержит информацию, покрывающую область знаний о проектировании самолета, в структурированном виде, пригодном для использования программным обеспечением. Для этого требуются некоторая модель классификации понятий и определенный формат представления знаний в виде тезауруса.

Одной из основных задач являлась наиболее подробная и детальная формализация области знаний «Самолет» с помощью концептуальной схемы. Эта схема состоит из базы данных, содержащей все релевантные классы объектов, их связи и правила (ограничения), принятые в этой области. Данная база знаний содержит структурированную информацию и работает совместно с системами поиска, имеет определенный формат представления данных.

К информации, хранящейся в базе знаний данной интеллектуальной системы, предъявлялись следующие требования:

– достоверность конкретных и обобщенных терминов, имеющихся в базе данных;

– релевантность или семантическое соответствие информации, то есть не только оценка степени соответствия, но и степени практической применимости соответствующих данных;

– исключение противоречий, контроль правильной интерпретации терминов.

3. Математическая модель

Математическая модель в разработанном программном комплексе «Робот-проектант» основана на так называемой технологии быстрых расчетов [2–5]. Была использована схема исследования поведения объекта, состоящая из нескольких этапов. На первом этапе строится модель изучаемого объекта в виде функциональной зависимости $y = F(x)$, где переменная x описывает сам объект и задает условия его функционирования, а значение y есть некоторая характеристика объекта при заданных условиях функционирования. Сама функция F является неизвестной. Как правило, существует некоторое количество измерений $\Phi = \{y_i = F(x_i),\ i = 1, 2, \ldots\}$, полученных в результате натурных или вычислительных экспериментов. По известному множеству Ф с использованием тех или иных математических методов анализа и обработки данных строится суррогатная модель — функция $y = FS(x)$, значения которой принимаются в качестве приближенного значения характеристики y для объекта с описанием x. Далее к построенной суррогатной модели применяются различные математические методы решения экстремальных и оптимизационных задач, которые требуют проведения расчетов с помощью функции $y = FS(x)$ на большом множестве данных x, существенно превышающем множество измерений. Поэтому одной из самых важных является задача снижения размерности описания объекта [2]. В настоящей работе в качестве целевой функции, а также в качестве функциональных ограничений рассматриваются суррогатные модели, или аппроксиматоры. Входными данными аппроксиматоров являются геометрическое описание самолета и его основные летно-технические параметры. Геометрическое описание самолета задается с использованием сравнительно небольшого числа интегральных геометрических характеристик — параметров

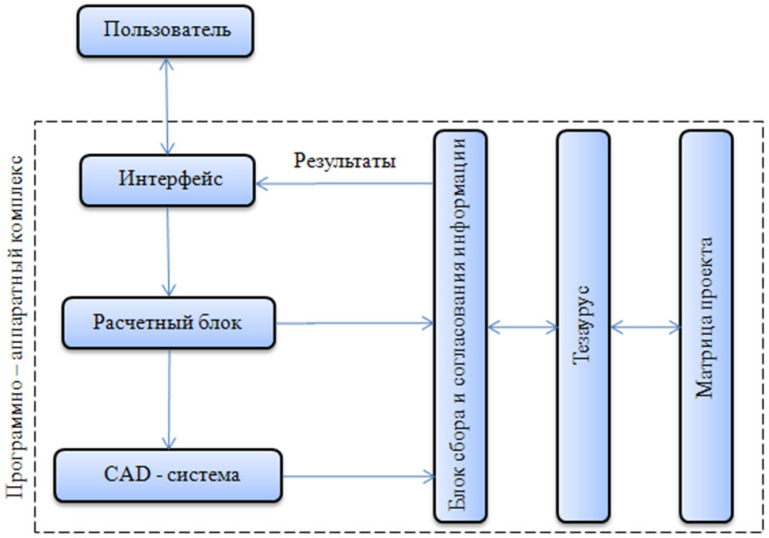


Рис. 2. Структурная схема робота-проектанта

модели, которые отражают наиболее существенные свойства самолета и традиционно используются экспертами и инженерами на этапе предварительного проектирования. Такой подход значительно сокращает размерность описания объекта, обеспечивая при этом степень детальности, достаточную для предварительной оценки параметров и характеристик самолета.

В данной работе представлен метод, позволяющий создавать модели самолета в автоматическом режиме при помощи CAD-технологии параметрического моделирования. Любой процесс проектирования как совокупность методов анализа и синтеза включает в себя набор правил и методов. Они могут быть обобщены и реализованы программными средствами в некую свертку, назовем ее условно параметрическим шаблоном. При использовании шаблонов проектировщику требуется лишь ввести входные данные. На выходе строятся целые конструкции по заложенным в шаблоне знаниям и алгоритмам решения задач. Шаблоны дают возможность однажды созданные алгоритмы применять повторно к другим построениям, получая при этом новый результат. Схема данного подхода представлена на рис. 3.

Шаблоны можно представить в виде функции

$$y = f(x),$$

где x — входные параметры, включающие параметры проектирования и параметрические ограничения;

y — выходные параметры — геометрическая модель.

Образцы готовых 3D-моделей проиллюстрированы на рис. 4.

4. Интерфейс интеллектуального помощника проектанта

Проектирование — процесс всегда итерационный. Это связано с тем, что начиная от этапа постановки задачи до принятия окончательных решений невозможно определить и согласовать все взаимосвязанные данные между собой. Отсюда потребность для проектанта иметь возможность видеть весь процесс проектирования объекта. Значения параметров, относящиеся к текущему этапу расчета, отображаются на таймлайне проекта в виде числовых значений или пиктограмм. На рис. 5 представлен внешний вид пользовательского интерфейса ИПП.

На рис. 6 изображены основные элементы интерфейса интеллектуального помощника проектанта.

Интерфейс РП состоит из нескольких главных частей: таймлайна проекта (1), интерактивного экрана изменения проектных параметров (2), матрицы проекта и окна предварительного просмотра модели (4).

Таймлайн проекта — древовидная структура, отражающая ход выполнения расчета проекта. В силу того, что процесс проектирования самолета включает большое количество этапов и операций, не представляется возможным выводить все сведения о проекте на экран единовременно. Вместо этого разработан динамически изменяющийся таймлайн, отображающий важную на текущем этапе расчета информацию, а также предоставляющий пользователю информа-

Рис. 3. Процесс проектирования при помощи параметрических шаблонов

Рис. 4. Образцы готовых 3D-моделей

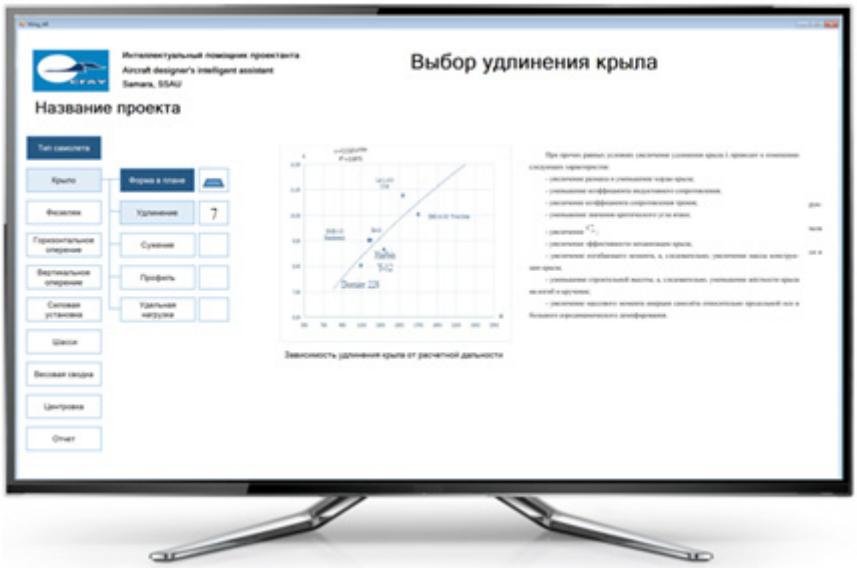


Рис. 5. Внешний вид интерфейса интеллектуального помощника проектанта

цию о том, какие этапы расчета предшествуют или следуют за текущим. Таймлайн присутствует как на информационном экране, где он выполняет справочную функцию, так и на экране, предназначенном для ввода данных, где он служит для навигации между этапами работы над проектом, а также для связи отдельных окон в единый комплекс подобно тому, как матрица проекта служит интегрирующим элементом для всего набора расчетных модулей. На рис. 7 изображено начальное (А) и промежуточное (Б) состояние таймлайна процесса предварительного проектирования транспортного самолета.

Взаимодействие пользователя с информационной системой в ее интерфейсе описывается средствами сценария, в котором фиксируется форма диалога, регламентирующая последовательность транзакций, и вид обмена сообщения между компьютером и пользователем. В зависимости от используемых средств сценарий может быть представлен в виде графа переходов конечного автомата либо в виде совокупности фреймов. Совокупность сценариев диалога (как статических, так и динамических) хранится в соответствующих библиотеках и представляет собой модель общения, реализуемую пользовательским интерфейсом информационной системы.

Таймлайн служит для описания процесса проектирования самолета. Каждый пункт таймлайна представляет отдельный вычислительный модуль, отвеча-

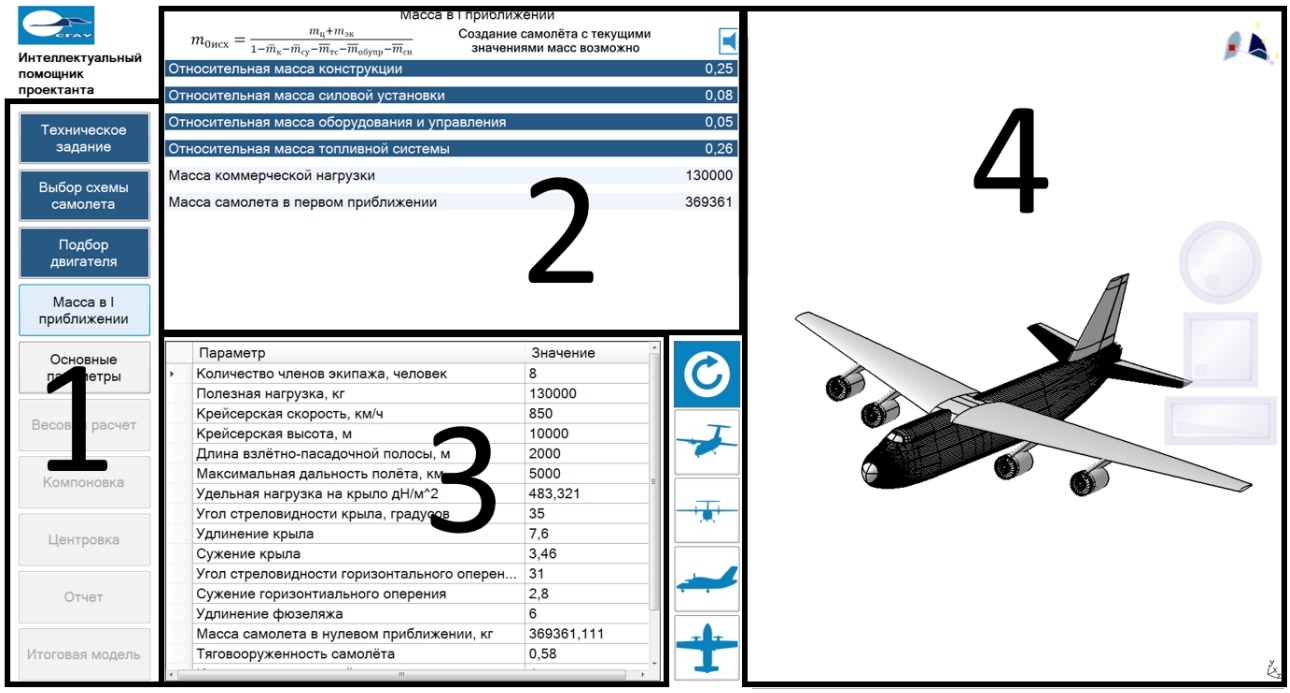


Рис. 6. Основные элементы пользовательского интерфейса интеллектуального помощника проектанта

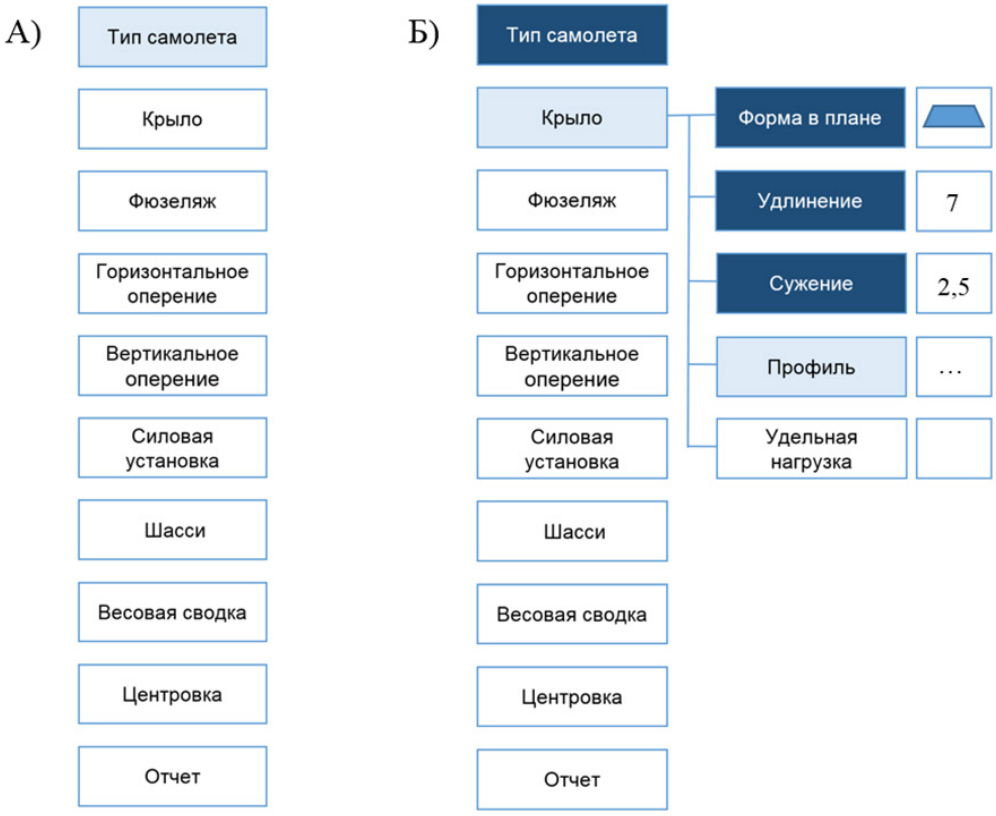


Рис. 7. Таймлайн процесса предварительного проектирования транспортного самолета

ющий за выполнение некоторого набора проектных процедур.

5. Демонстрационный экземпляр

Для демонстрации результатов, достигнутых в процессе создания ИС «Робот-проектант», был изготовлен демонстрационный экземпляр на базе выставочного киоска с сенсорным управлением (рис. 8). Работа системы сопровождается аудио- и визуальными подсказками, которые позволяют взаимодействовать с системой пользователям, не являющихся специалистами в области авиастроения.

Рис. 8. Внешний вид демонстрационного образца ИС «Робот-проектант»

6. Заключение

Результаты, полученные при создании прототипа робота-проектанта в области предварительного проектирования самолета, демонстрируют реализуемость интеллектуальных помощников в области конструирования сложных технических артефактов. Представленный прототип позволяет пользователю, не знакомому с CAD-системами, успешно создавать трехмерные модели самолета и его агрегатов, а также их различные представления, в автоматическом режиме осуществляя комплекс действий, которым обычно занимается конструктор, за счёт формализации его поведения на основе онтологического анализа. Полученный результат позволяет надеяться на активное использование роботов-проектантов как интеллектуальных помощников в реальной практике проектирования.

Библиографический список

1. Боргест, Н. М. Робот-проектант: фантазии и реальность / Н. М. Боргест, А. А. Громов, А. А. Громов, Р. Х. Морено, М. Д. Коровин, Д. В. Шустова, С. А. Одинцова, Ю. Е. Князихина // Онтология проектирования. 2012. № 4 (6). С. 73–94.

2. Боргест, Н. М. Робот-проектант: на пути к реальности / Н. М. Боргест, С. А. Власов, А. А. Громов, А. А. Громов, М. Д. Коровин, Д. В. Шустова // Онтология проектирования. 2015. № 4 (18). С. 73–94.

3. Машиностроение : энциклопедия : в 40 т. / ред. совет : К. В. Фролов (пред.) и др. Т. IV-2 : Самолеты и вертолёты. Кн. 2 : Проектирование, конструкции и системы самолетов и вертолётов / А. М. Матвеенко, А. И. Акимов, М. Г. Акопов [и др.] ; под общ. ред. А. М. Матвеенко. М. : Машиностроение, 2004. 752 с.

4. Hurlimann, F. Mass estimation of transport aircraft wingbox struc-tures with a CAD/CAE-based multidisciplinary process / F. Hurlimann, R. Kelmb, M. Dugasb, K. Oltmannb, G. Kressa // Aero-space Science and Technology. 2011. Vol. 15, № 4. P. 323–333.

5. Jiapeng, T. A finite element parametric modeling technique of aircraft wing structures / Tang Jiapeng,, Xi Ping, Zhang Baoyuan, Hu Bifu // Chinese J. of Aeronautics. 2013. Vol. 26, № 5. P. 1202–1210.

6. Hürlimann, F. Aircraft Multidisciplinary Design Optimization using Design of Experiments Theory and Response Surface Modeling Methods : dis. ... Doctor of Sciences / Florian Hürlimann. Zurich, 2010. 148 p.

Сведения об авторах

Громов Алексей Александрович — инженер конструктор ООО «НИК – Самара», Самара.

Громов Андрей Александрович — инженер-конструктор АО «Технодинамика» (госкорпорация «Ростех»). gomer191@gmail.com

---

Al. A. Gromov, An. A. Gromov

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT ASSISTANT DESIGNERS

This article presents the results of a prototype intelligent assistant designer in the field of automation of the preliminary design of the aircraft.

ББК Ц903
УДК 614

К. Р. Еникеева, С. А. Митакович, А. Х. Абдуллин

КОНЦЕПЦИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СЦЕНАРИЕВ РЕАГИРОВАНИЯ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АГЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Исследования частично поддержаны грантами РФФИ: проекты № 15-07-01565-а, 15-08-01758-а, 14-07-00811-а

Статья посвящена разработке концепции системы поддержки принятия решений при выработке управленческих решений по ликвидации возможных чрезвычайных ситуаций, моделирования сценариев реагирования. Исследуется применимость агентного моделирования для решения поставленных задач. Описывается возможность интеграции геоинформационной системы и инструмента имитационного моделирования для решения поставленных задач в рамках единого программного продукта.

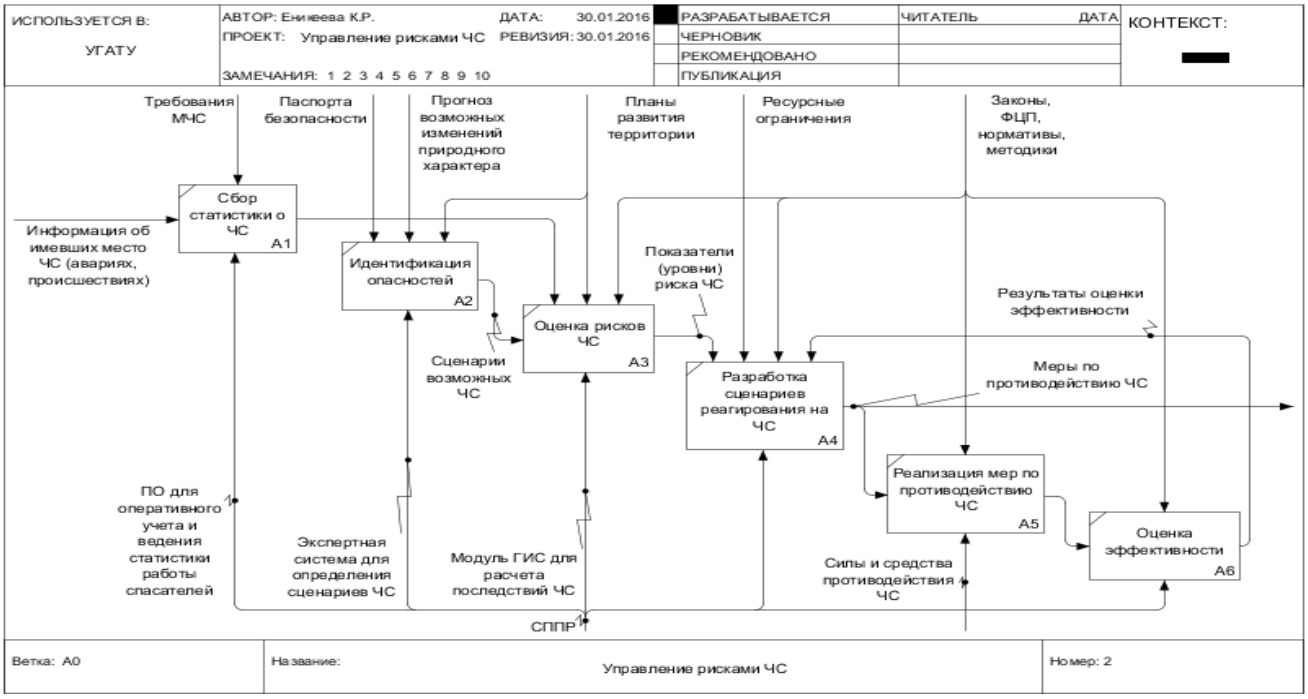
Введение. Каждая чрезвычайная ситуация уникальна, поэтому невозможно заранее точно просчитать все ее характеристики, используя детерминированные математические модели, и, руководствуясь стандартными предписаниями, выработать универсальный план ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС). Другими словами, даже со знанием примерного широкого спектра сценариев ЧС и вероятностей их реализации распределение ресурсов для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ, определение приоритетных направлений ликвидации ЧС и порядка действий являются нетривиальной задачей и требуют применения средств интеллектуальной информационной поддержки принятия решений [1–3]. При этом разработка мероприятий по противодействию ЧС, моделей (сценариев) реагирования — важный аспект управления рисками, поскольку от эффективности этих мероприятий напрямую зависит масштаб возможного ущерба. Стоит учитывать и то, что любые меры по подготовке к противодействию ЧС требуют затрат материальных, человеческих и временны́х ресурсов.

Проблема управления рисками ЧС. Если рассматривать проблему управления рисками ЧС в комплексе, то она представляет собой последовательность шагов от сбора информации и идентификации опасности до оценки эффективности принимаемых решений по снижению риска. Функциональная модель этого процесса представлена на рисунке [4]. В качестве механизма (стрелки снизу) предлагается использовать систему поддержки принятия решений (СППР), в состав которой входит несколько модулей. В настоящее время нами разработано методическое, алгоритмическое и программное обеспечение для первых трех этапов управления (функциональные блоки А1–А3) [4]. Данная статья посвящена разработке методологии и концептуальному проектированию средств поддержки при разработке сценариев реагирования на ЧС.

Анализ известного программного обеспечения. В настоящее время существует широкий спектр программных средств для поддержки различных этапов анализа рисков и управления в ЧС [5]. Большинство из них решают вопросы анализа рисков, моделирования тех или иных видов природных и техногенных ЧС, расчета их поражающих факторов (TRACE, ЭСПЛА, НОСТРАДАМУС и др.). Есть средства для оценки риска промышленных аварий и оптимизации мер безопасности на опасных производственных объектах (например, tHAZARD).

Анализ существующих СППР показал, что мощные СППР, которые не только моделируют возможные ЧС, но и обеспечивают информацией о принятии необходимых мер (ГИС «Эстремум», а также зарубежные — GDIN, IMIS, NEWMS, RODOS, PPS и др.), применяются на федеральном и международном уровне. В то время как на объектовом уровне (потенциально опасных объектов) и местном уровнях существует потребность в программном обеспечении, с помощью которого можно было бы моделировать именно этап реагирования на ЧС, автоматизировать разработку планов ликвидации аварийных ситуаций, пожаротушения и т. п. Существующие программные решения не дают ответа на вопрос о том, что именно нужно делать, какие контрмеры предпринимать в случае возникновения той или иной ЧС и насколько эти меры будут эффективны. Также не учитываются географические характеристики местности, инфраструктура прилежащих территорий, которая играет важную роль в том, по какому сценарию будет развиваться ЧС и насколько оперативно и успешно будут действовать ликвидаторы.

Предлагаемое решение. В качестве метода моделирования сценариев реагирования предлагаем использовать агентное моделирование [6]. Это ме-



Процесс управления рисками ЧС

тод имитационного моделирования, исследующий поведение децентрализованных агентов и то, как это поведение определяет поведение всей системы в целом [7]. При разработке агентной модели вводятся параметры агентов (спасатели, аварийно-спасательные подразделения, транспортные средства, опасные производственные объекты, города и т. д.), определяется их поведение, они помещаются в некую окружающую среду, устанавливаются возможные связи, после чего запускается моделирование. Индивидуальное поведение каждого агента образует глобальное поведение моделируемой системы.

Агентная модель — это ряд взаимодействующих активных объектов, которые отражают объекты и отношения в реальном мире. Таким образом, агентное моделирование делает шаг вперед в понимании и управлении совокупностью сложных процессов. Имитационное моделирование дает возможность рассмотреть множество случайных сценариев. В качестве инструмента моделирования был выбран программный продукт AnyLogic [7]. Возможности агентного моделирования в AnyLogic позволяют отразить в модели динамику развития чрезвычайной ситуации, неопределенность и непрогнозируемость поведения людей в таких случаях, дорожную сеть, транспортные средства и их характеристики (состояния), динамические события, связанные с работой ликвидаторов и др.

У AnyLogic есть возможность интеграции с ГИС. Применение ГИС позволяет учитывать параметры среды, географические, пространственные характеристики, инфраструктуру объекта и надсистемы (города, района, региона и т. д.) и др. То есть модель реагирования на ЧС может быть реализована на карте местности. Поскольку разработанное нами ранее для поддержки принятия решений на предыдущих этапах управления рискам программное обеспечение также реализовано в ГИС (ArcGIS), то обеспечивается единое информационное пространство, единая среда для СППР в целом.

Заключение. Разработка мероприятий по реагированию на ЧС является сложной комплексной задачей, при решении которой необходимо учитывать множество факторов как внешней, так и внутренней для объекта управления среды. Управление сложной системой происходит в динамично изменяющихся условиях. Чтобы построить адекватную модель происходящих процессов, необходимо использовать метод имитационного моделирования. Для рассматриваемой задачи предложено применять агентное моделирование в среде AnyLogic совместно с геоинформационной системой ArcGIS. Темой дальнейших исследований станет построение, реализация моделей реагирования в ЧС и оценка эффективности предложенного подхода по результатам применения в реальных условиях.

Библиографический список

1. Юсупова, Н. И. Системное моделирование процесса информационной поддержки разработки паспортов безопасности опасных производственных объектов / Н. И. Юсупова, С. А. Митакович, К. Р. Еникеева // Вестн. УГАТУ. 2008. Т. 10, № 2. С. 80–87.

2. Юсупова, Н. И. Интеллектуальные технологии обработки информации для антикризисного управления в организационно-технических системах / Н. И. Юсупо-

ва, Г. Р. Шахмаметова, К. Р. Еникеева // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2013. № 1 (91). С. 113–124.

3. Абдуллин, А. Х. Использование геоинформационных технологий для мониторинга лесных пожаров в Республике Башкортостан / А. Х. Абдуллин, А. А. Арсланов, Е. В. Линник // Актуал. проблемы лесного комплекса. 2012. № 33. С. 3–6.

4. Юсупова, Н. И. Концепция поддержки принятия решений при стратегическом планировании и управлении силами и средствами противодействия чрезвычайным ситуациям [Электронный ресурс] / Н. И. Юсупова, К. Р. Еникеева // Информационные технологии и системы : сб. тр. Третьей Междунар. науч. конф. Челябинск, 2014. С. 122–124. URL: http://iit.csu.ru/content/docs/science/itis2014/ITiS_2014.pdf (дата обращения 30.01.2016).

5. Ямалов, И. У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] / И. У. Ямалов. 3-е изд. Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 291 с.). М. : БИНОМ, Лаборатория знаний, 2015.

6. Фаттахов, Р. В. Агентно ориентированный подход: новое средство получения знания / Р. В. Фаттахов, М. Р. Фаттахов // Регион. экономика: теория и практика. 2015. № 10 (385). С. 47–62.

7. AnyLogic : офиц. сайт разработчика. URL: http://www.anylogic.ru/ (дата обращения 30.01.2016).

Сведения об авторах

Еникеева Карина Рафаэльевна — кандидат технических наук, доцент Уфимского государственного авиационного технического университета. k.r.enikeeva@gmail.com

Митакович Сергей Анатольевич — кандидат технических наук, генеральный директор ООО «ИНТРОГИС». S.Mitakovich@introgis.ru

Айдар Хайдарович Абдуллин — кандидат технических наук, доцент Уфимского государственного авиационного технического университета. a.kh.abdullin@gmail.com

---

K. R. Enikeeva, S. A. Mitakovich, A. Kh. Abdullin

THE CONCEPT OF DECISION SUPPORT FOR EMERGENCY RESPONSE WITH THE USE OF AGENT-BASED MODELING AND GIS TECHNOLOGIES

The paper is devoted to the concept of decision support system for emergency response and its scenarios simulation. We investigate the applicability of agent-based modeling for the task and describe the possible integration of geographic information systems and simulation tools for the task in a single software product.

ББК Ж2-5-05
УДК 004.3

К. В. Кириллов

ОЦЕНИВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ОБЪЁМЕ ВЫБОРОЧНЫХ ДАННЫХ

Рассматривается проблема математико-статистического анализа при переменном объеме исходных данных. Осуществлена постановка задачи определения зависимости внутреннего состояния аппаратно-программного комплекса от интенсивности поступления заявок на обслуживание.

Обеспечение надежности функционирования аппаратно-программных комплексов является весьма важным вопросом современной инженерной деятельности. Для осуществления этого процесса необходимо постоянно отслеживать состояние технических и программных компонентов сложных систем и адекватно интерпретировать данные такого мониторинга.

Практика показывает, что объем данных подконтрольной эксплуатации аппаратного-программных комплексов носит переменный характер. Вместе с тем, несмотря на переменный характер исходных выборочных данных, их объем является малым, а точность регистрации — низкой. Все это обусловливает необходимость в применении метода математико-статистического моделирования на основе принципов интервального оценивания исходных данных.

При решении инженерных задач базисом математико-статистического моделирования является оценивание закона распределения случайных величин по некоторой выборке определенного объема.

Автор статьи и его научный руководитель, заведующий кафедрой технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета, доктор технических наук, профессор Владимир Ефимович Гвоздев полагают, что исходными данными для оценивания показателей качества и надежности аппаратно-программных комплексов могут являться сведения из журнала регистрации заявок на обслуживание, поступающих от пользователей в службу поддержки. Другими словами, состояние входного потока заявок (т. е. внешней среды) может отображать корректность функционирования аппаратно-программного комплекса (внутреннего состояния).

Очевидно, что интенсивность потока заявок является индикатором неисправности системы: чем выше интенсивность этого потока, тем больше в системе дефектов. Причем такой подход позволяет анализировать появление не только чисто технических ошибок, но и псевдо-дефектов, связанных со своего рода моральным устареванием системы, когда она перестает удовлетворять постоянно растущим запросам и потребностям пользователей. Тем не менее оставим возможность анализа таких «дефектов» за рамками настоящей статьи, поскольку данный вопрос требует отдельного исследования. В текущей работе речь будет идти только о «правильных» заявках на обслуживание от пользователей, характеризующих действительные неисправности в системе.

Кроме того, зачастую пользователи не могут указать точное время проявления ошибки в системе, а если даже время каким-либо образом им удастся зафиксировать, то оно будет отображать лишь момент обнаружения внешних проявлений ошибок, но не момент их возникновения. В связи с этим целесообразно использование интервального принципа измерения, когда при исследовании оперируют не точечными оценками тех или иных величин, а интервальными.

Концептуальную основу предлагаемого подхода составляет следующее: количество отклонений в поведении системы от предполагаемого, а также моменты времени между фиксацией данных об этих отклонениях является объективной косвенной характеристикой количества дефектов в программном продукте.

Особенностью сбора данных об отклонении поведения программных продуктов от ожидаемого, в особенности на этапе подконтрольной эксплуатации, являются низкая точность регистрации времени возникновения события.

В качестве примера из практики можно привести следующее. На одном из предприятий используется информационная система, назначение которой заключается в автоматизации документооборота. Ответственность за работоспособность данной системы возложена на подразделение А. Работа над поиском и устранением ошибок в системе заключается в формировании сообщений пользователями обо всех возникающих инцидентах в подразделение А. Порядок извещения подразделения А об ошибках в системе на предприятии строго не регламентирован: оповещение может осуществляться по различным каналам связи (электронные сообщения внутри системы, телефонные звонки, письменные обращения, устное информирование). По этой причине информация об отклонениях поведения системы от эталонного поступает в ответственное подразделение А с задержкой до 2–3 дней. Необходимо оценить, как размер временной задержки между моментом обнаружения ошибки

и сообщением о ней влияет на надежность системы и, как следствие, на эффективность управления предприятием.

В связи с этим возникает задача в необходимости разработки методов оценивания статистических характеристик на основе размытых (интервальных) оценок выборочных данных.

Данные об отказах следует группировать по интервалам наблюдений. Однако вопрос выбора величины интервала в зависимости от свойств исходных данных является открытым, и поэтому нужно определить, как величина интервала времени наблюдения влияет на точность оценивания параметров состояния аппаратно-программных комплексов.

Формализуем задачу. Зададим выборку случайных величин:

$$\left\{\{x\}_1^n, m\right\} \to \hat{F}^{(m)}(x)$$

$$\left|\hat{F}^{(m)}(x) - F_T(x)\right| \underset{m}{\to} \min,$$

где $\{x\}_1^N$ — исходная выборка случайных величин объемом N; m — число интервалов разбиения возможных диапазонов изменения случайных величин. Объем выборки также является переменным числом, распределенным равномерно в диапазоне [50; 150].

Критерием для выбора параметра m является соотношение:

$$\left|\hat{F}^{(m)}(x) - F_T(x)\right| \underset{m}{\to} \min.$$

То есть необходимо подобрать m, при котором погрешность — отклонение эмпирической оценки интегральной функции распределения от значений теоретической функции минимально при заданных объемах выборки N.

Графическая иллюстрация решения задачи имеет вид, представленный на рис. 1.

В рамках решения заявленной задачи был проведен статистический эксперимент, целью которого было определение рационального числа интервалов группирования в зависимости от объема и свойств выборочных данных.

Схема эксперимента приведена на рис. 2.

Результаты статистического эксперимента показали, что погрешность (максимальное отклонение значений эмпирической функции от значений теоретической функции распределения) убывает с ростом объема выборки и количества интервалов. Причем разбиение более, чем на 100 интервалов перестает значительно влиять на точность эмпирической функции. Гораздо более сильное влияние на точность оказывает объем выборки. В связи с этим можно выделить направления для дальнейшего изучения оценивания законов распределения случайных величин при интервальном измерении выборочных данных:

1) исследование зависимости точности эмпирической функции распределения одновременно от количества интервалов разбиения и объема выборки;

2) определение зависимости при разбиении пространства на интервалы неравной ширины.

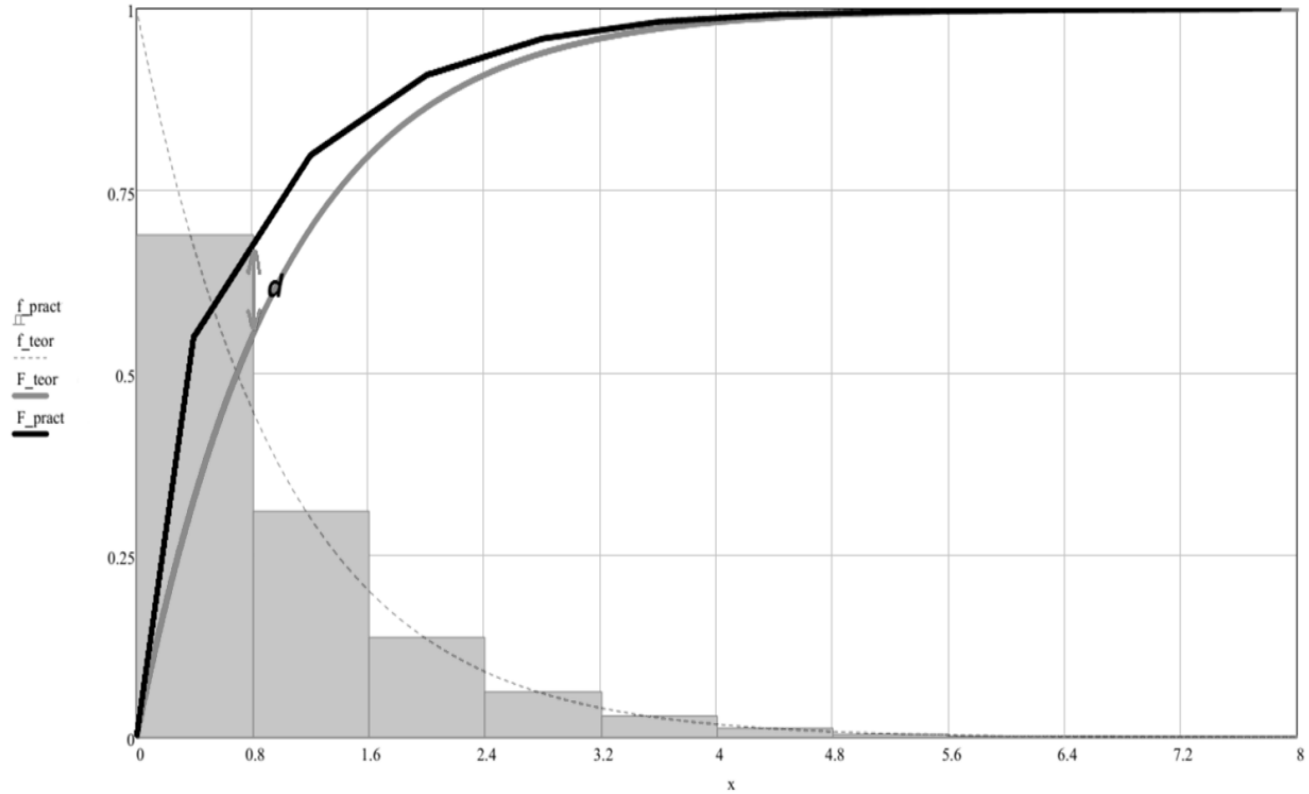


Рис. 1. Гистограмма и эмпирическая оценка интегральной функции распределения

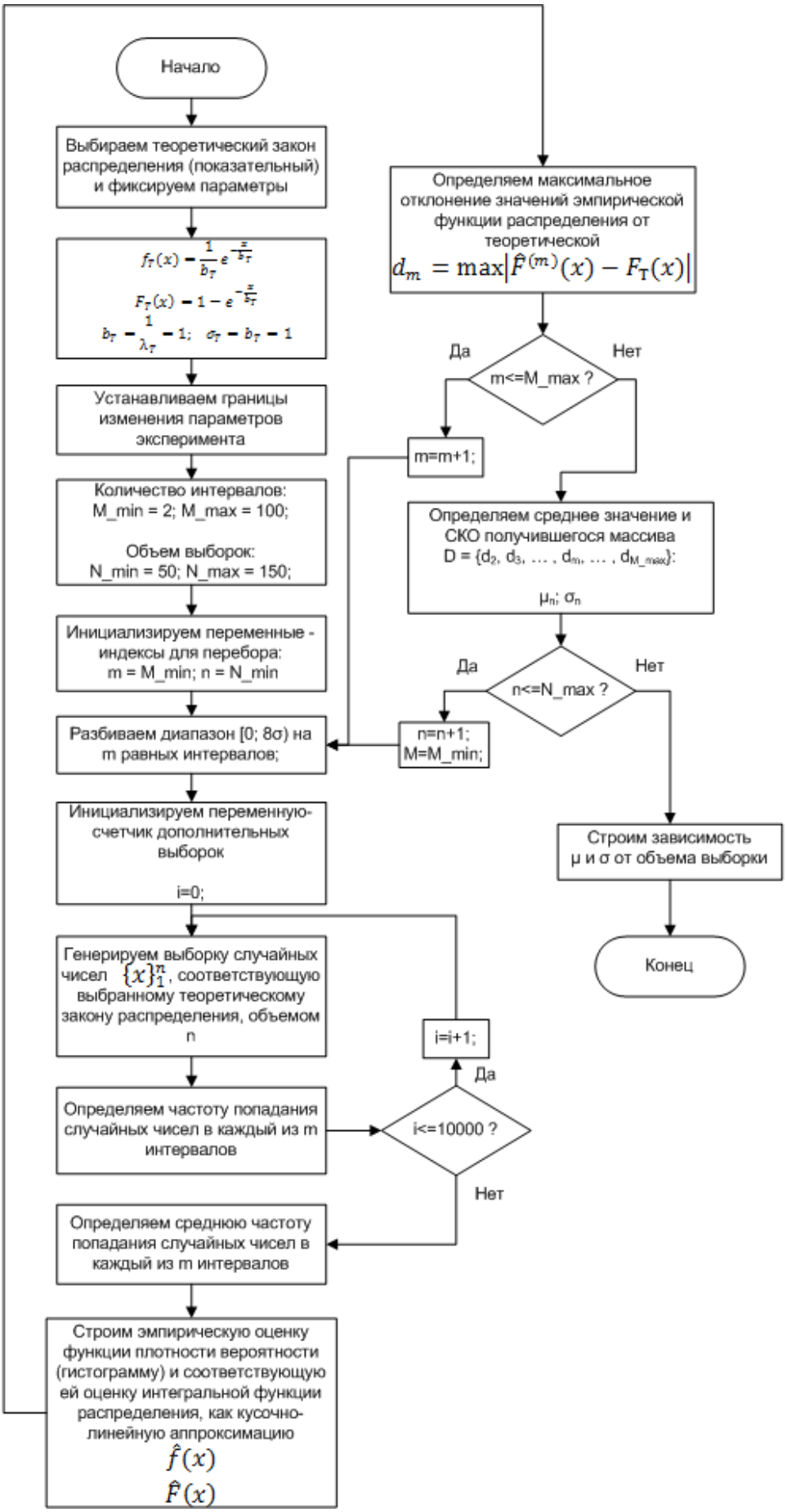


Рис. 2. Схема эксперимента

Библиографический список

1. Гвоздев, В. Е. Анализ надежности технических систем на основе математико-статистического моделирования / В. Е. Гвоздев, Г. И. Таназлы, А. Ю. Хасанов, М. А. Абдрафиков // Вестн. УГАТУ. 2011. Т. 15, № 2 (42). С. 22–28.
2. Гвоздев, В. Е. Сравнительный анализ неклассических методов оценки законов распределения случайных параметров систем управления / В. Е. Гвоздев, Ю. Е. Алыпов, А. Р. Мелитицкий // Кибернетические системы управления подвижными объектами : межвуз. сб. Уфа, 1983. С. 16–21.
3. Липаев, В. В. Функциональная безопасность программных продуктов / В. В. Липаев. М. : Синтег, 2004.

Сведения об авторе

Кириллов Константин Витальевич — аспирант Уфимского государственного авиационного технического университета. kir-konst@yandex.ru

---

K. V. Kirillov

THE EVALUATION OF COMPUTER APPLIANCE STATUS PARAMETERS BASED ON VARIABLE SIZE OF SAMPLING DATA

The paper is devoted to the problem of the mathematical and statistical analysis based on variable size of sampling source data. The matter of relations between computer appliance internal state and support requests' queue activity is considered.

ББК В181
УДК 519.2

А. А. Козько

МЕТОД ОЦЕНКИ СЕМАНТИЧЕСКОГО РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ СООБЩЕНИЯМИ НА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ФОРУМЕ

Рассмотрены вопросы информационного взаимодействия субъектов дистанционного учебного процесса, указаны недостатки существующих средств для организации взаимодействия и предложены решения. Предложен подход для определения семантической близости сообщений на учебном форуме, включающий этапы извлечения ключевых терминов и оценки семантической близости двух терминов. Представлен обзор методов, используемых на этих этапах. Предложена метрика оценки семантического расстояния сообщений на форуме.

1. Введение

Развитие информационных технологий делает дистанционное образование всё более доступным для людей, а технологии управления и поддержки учебного процесса всё более важными. Множество работ посвящено рассмотрению LMS (Learning Management System), например, работа [1], обзору существующих решений посвящены работы [2]. Однако в этих работах инструменты управления учебным процессом рассматриваются в основном со стороны разработки, управления и распространения учебных материалов и курсов, при этом без должного внимания к вопросам коммуникации и информационного взаимодействия между различными субъектами учебного процесса.

При этом современные образовательные теории, такие как теория коннективизма, 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) [3]. Под артефактами понимания понимаются записи в блогах, вики-страницы и другие учебные материалы, которые создаются самими студентами с целью их обсуждения с другими учащимися. В работе [4] анализируется такой подход и заявляется о его большей эффективности в сравнении с традиционными.

2. Средства коммуникации в учебном процессе

На данный момент для организации коммуникации между субъектами обучения используются форумы, блоги, системы вопросов и ответов и системы комментариев, несмотря на это многообразие, самым главным способом по-прежнему остаются форумы. Более подробному рассмотрению этих средств коммуникации посвящена работа [5].

Однако 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, MOOC (Massive Open Online Courses), что сильно снижает их эффективность, об этом можно судить по большому 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.

2.1. Адаптивные учебные форумы

Для повышения эффективности применения форумов как средства информационного взаимодействия в рамках учебного процесса необходимо пересмотреть концепцию онлайн-форумов в сторону добавления к нему интеллектуальных средств поддержки онлайн-коммуникации. Для достижения этой цели можно использовать технологию адаптивных учебных форумов, описанную в [6], основной идеей которой является возможность форума «подстраиваться» под пользователя, изменяя свою структуру под информационные потребности студента, которые могут быть определены из различных факторов, таких как изучаемая студентом в данный момент тема или большая активность в определенных разделах форум.

Однако для достижения этой цели необходимо решить ряд задач, одна из которых — определение структурно-семантической связи между отдельными сообщениями на форуме, для дальнейшего «склеивания» их в дискуссии.

3. Семантическая близость сообщений

В этой работе мы будем рассматривать оценку близости сообщений только по семантическим признакам.

3.1. Предлагаемый алгоритм

Для того чтобы оценить семантическую близость двух сообщений, предлагается алгоритм, состоящий из трех шагов:

1. Выделить ключевые термины.
2. Определить близость между ключевыми терминами.
3. Оценить близость сообщений на основании близости между ключевыми терминами в сообщении.

3.2. Выделение ключевых терминов

В этой работе, под *ключевым термином* понимается слово или словосочетание, которое характеризует тематическую направленность документа (в нашем случае — сообщения).

Практически все существующие на данный момент методы извлечения ключевых слов работают по следующей схеме [7]:

1. Нормализация входного документа — очистка документа от лишних символов, приведение слов к нормальной форме и т. д.

2. Извлечение кандидатов в ключевые термины.

3. Фильтрация кандидатов по статистическим или лексическим признакам.

4. Оценка кандидатов путем назначения веса каждому из них.

5. Отбор ключевых терминов. Может происходить как по пороговому значению веса, так и просто в силу выбора заранее заданного количества ключевых слов.

Среди методов извлечения ключевых терминов можно выделить несколько основных видов, которые отличаются по используемым критериям.

1. Статистические, которые основаны на частоте употребления слов и словосочетаний.

2. Лингвистические, которые учитывают в основном типичную структуру именных словосочетаний.

3. Комбинированные, или гибридные, которые поразному сочетают критерии первых двух типов.

К сожалению, как отмечается в [8], лингвистические методы очень сложны в реализации. Это связано с тем, что такие методы используют онтологии, разработка которых является очень затратным процессом. Поэтому мы в нашем исследовании остановили свое внимание на статистических методах извлечения ключевых терминов.

Классическими подходами в области статистической обработки естественного языка можно считать использование метрики TF-IDF и ее модификаций (для выделения ключевых слов) и анализ коллокаций (для выделения словосочетаний).

Одним из главных недостатков подхода TF-IDF является то, что набор документов не должен меняться во время расчета, а добавление нового документа потребует пересчета значений. Для решения этого недостатка было предложено несколько решений, например, алгоритм TF-ICF [9]. В качестве развития этого подхода Mihalcea и Csomai в 2007 г. в своей работе описали метод, использующий Википедию в качестве обучающего множества [10]. Авторы использовали для оценки веса кандидата в ключевые термины информацию из вручную размеченных статей Википедии.

Для оценки вероятности того, что термин будет выбран ключевым в новом документе, используется формула

$$P = \frac{count(D_{key})}{count(D_W)},$$

где W — термин; $count(D_{key})$ — количество документов, в которых термин был проаннотирован как ключевой; $count(D_W)$ — количество документов, в которых содержится термин.

Подобная оценка является довольно точной, поскольку для обучения используется вручную размеченная база Википедии, однако она может быть ненадежной для редко используемых терминов, поэтому авторы этого метода рекомендуют рассматривать только те термины, которые появляются в Википедии не менее 5 раз.

На наш взгляд, использование данного подхода является наиболее оптимальным для задачи извлечения ключевых слов с учебного форума, поскольку он основан на пополняемой и размеченной вручную коллекции документов, что должно обеспечить хорошую точность и актуальность оценки.

3.3. Оценка близости ключевых терминов

Под семантической близостью в данной работе понимается семантическое подобие и связанность терминов (similarity and relatedness).

Существует множество способов определения семантической близости слов, которые условно можно разделить на [11]:

1) методы, основанные на онтологиях: меры Резника, Leacock — Chodorow и др.;

2) основанные на корпусах текстов: например, LSA;

3) меры, основанные на энциклопедии Wikipedia и использующие свойство частичного структурирования информации в Википедии.

При выборе класса методов, которые подойдут для оценки семантической близости для сообщений на учебных форумах, важно учитывать тематическую направленность обсуждений и наличие в сообщениях специфических терминов. Исходя из этого для использования метрик, основанных на корпусах, требуется наличие подходящих коллекций текстов, а для метрик на онтологиях требуется наличие онтологии нужной предметной области. Получение и подходящей коллекции текстов, и подходящей и достаточно полной онтологии может быть связано с большими трудностями, в то время как открытая энциклопедия Википедия достаточно полно охватывает концепции из разных предметных областей, имеет структурирование на категории (благодаря чему можно ограничиться рассмотрением отдельного нужного подмножества Википедии) и постоянно пополняется, быстро реагируя на появление новых концепций в различных предметных областях.

Исходя из обозначенных выше причин в качестве базового метода оценки семантической близости предлагается использовать один из методов, основанных на Wikipeda.

3.4. Оценка семантической близости сообщений

Из-за крайне малого размера каждого отдельного сообщения предлагаемый алгоритм оценки семантической близости нацелен на максимальную полноту нахождения семантически близких сообщений, жертвуя точностью, поскольку в дальнейшем мы можем увеличить точность за счет использования структур-

ных признаков форумных сообщений (например, отношений «родитель—потомок»).

Поскольку предлагается рассматривать только ключевые термины в сообщении, то каждое сообщение можно представить как множество $M = \{k_1, k_2, \ldots, k_n\}$, где k — ключевой термин. Мы ожидаем, что в форумных сообщениях будет содержаться обычно один-два и не больше двух-трех ключевых терминов.

Для того чтобы определить семантическую близость двух сообщений, нами предлагается перейти к обратной мере — дистанции. Дистанцию между двумя ключевыми терминами можно определить как величину, обратно пропорциональную близости:

$$dist(k_1, k_2) = \frac{1}{sim(k_1, k_2)},$$

где k_1, k_2 — ключевые термины.

Тогда рассчитать дистанцию между двумя сообщениями M_1, M_2, которые описываются наборами ключевых терминов $\{k_{11}, k_{12}, \ldots, k_{1n}\}$ и $\{k_{21}, k_{22}, \ldots, k_{2n}\}$ соответственно можно как произведение нормированных дистанций между парами ключевых терминов:

$$dist(M_1, M_2) = \prod_i dist_{norm}(k_{1i}, k_{2i}),$$

где i — количество пар ключевых слов. При этом мы предлагаем учитывать только те пары ключевых терминов, дистанция между которыми ниже порогового значения, значение которого предлагается определить экспериментально.

В этом случае, чем больше попарно близких терминов содержится в сообщениях, тем меньше дистанция между этими сообщениями, таким образом происходит уточнение оценки дистанции между сообщениями.

4. Заключение. В ходе данной работы нами был предложен алгоритм определения семантической близости сообщений на учебном форуме. Предложенный алгоритм включает в себя три этапа — выделение ключевых терминов, определение близости между ключевыми терминами и определение близости между сообщениями с учетом информации о близости ключевых терминов. Проведен обзор методов, которые могут быть использованы на первых двух этапах. Также мы предлагаем подход определения близости сообщений, основанный на дистанции (величине, обратной близости) между содержащимися в сообщении терминами.

Мы рассчитываем, что описанный метод может быть успешно применен для различных задач семантического анализа текстов.

Результаты данной работы найдут свое применение в дальнейших исследованиях. Мы рассчитываем, что наше исследование позволит в дальнейшем перейти к разработке технологии адаптивных учебных форумов, которая, как мы надеемся, поднимет эффективность взаимодействия в рамках дистанционных учебных курсов.

Библиографический список

1. Coates, H. A critical examination of the effects of learning management systems on university teaching and learning / H. Coates, R. James, G. Baldwin // Tertiary education and management. 2005. № 11. P. 19–36.

2. Siemens, G. Learning or Management Systems? : A Review of Learning Management System Reviews / G. Siemens. Learning Technologies Centre, University of Manitoba, 2006.

3. Siemens, G. Connectivism: Design and Delivery of Social Networked Learning / G. Siemens // The Intern. Rev. of Research in Open and Distance Learning. 2011. № 12. P. 3–11.

4. Mott, J. Open for Learning: The CMS and the Open Learning Network / J. Mott, D. Wiley // In education. 2009. № 15 (2).

5. Козько, А. А. Структурно-семантический анализ сообщений для построения адаптивных образовательных форумов / А. А. Козько // В мире науч. открытий. 2015. № 4 (2). С. 831–843.

6. Kozko, A. A. Construction of Adaptive Educational Forums Based on Intellectual Analysis of Structural and Semantics Features of Messages / A. A. Kozko // Supplementary Proceedings of the 4th International Conference on Analysis of Images, Social Networks and Texts (AIST'2015). Yekaterinburg, Russia, April 9–11, 2015. Yekaterinburg, 2015. P. 46–51.

7. Шереметьева, С. О. Методы и модели автоматического извлечения ключевых слов / С. О. Шереметьева, П. Г. Осминин // Вестн. Юж.-Урал. гос. ун-та. Сер. Лингвистика. 2015. Т. 12, № 1. С. 76–81.

8. Баканова, Н. Б. Исследование ключевых слов как инструмент оптимизации управления электронными документами / Н. Б. Баканова, И. В. Усманова // Совр. проблемы науки и образования. 2014. № 2.

9. Reed, J. W. TF-ICF: A New Term Weighting Scheme for Clustering Dynamic Data Streams / J. W. Reed, Yu Jiao, Th. E. Potok, B. A. Klump, M. T. Elmore, A. R. Hurson. Proc. Machine Learning and Applications, 2006. P. 258–263.

10. Mihalcea, R. Wikify!: linking documents to encyclopedic knowledge / R. Mihalcea, A. Csomai // Proceedings of the sixteenth ACM conference on Conference on information and knowledge management. N. Y. : ACM, 2007. P. 233–242.

11. Panchenko, A. Comparison of the Knowledge-, Corpus-, and Web-based Similarity Measures for Semantic Relations Extraction / A. Panchenko // Proceedings of the Workshop GEometrical Models of Natural Language Semantics (GEMS) of EMNLP. 2011. P. 10–18.

Сведения об авторе

Козько Александр Андреевич — аспирант Челябинского государственного университета. *alkozko@yandex.ru*

A. A. Kozko

METHOD FOR ESTIMATE SEMANTIC DISTANCE BETWEEN EDUCATIONAL FORUM MESSAGES

This paper discusses the informational interaction of the distance learning process. Disadvantages of existing tools for the organization of interaction were identified. We have proposed a solution to these problems. The method for determining the semantic similarity of educational forum posts was offered. The method includes the steps of extracting key terms and evaluation of semantic similarity between the two terms. Overview of the methods used in these steps is presented in this work. The metric for the estimate of the semantic distance of messages described in this paper.

ББК У.в631
УДК 336.717.13:004.4

В. А. Котельников, Н. И. Юсупова, Д. Р. Богданова

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ ОКАЗАНИЯ УСЛУГ ФИНАНСОВОГО ПОСРЕДНИЧЕСТВА В СИСТЕМЕ МОМЕНТАЛЬНЫХ ПЛАТЕЖЕЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Исследованы средства поддержки принятия решений при предоставлении услуг финансового посредничества в системе моментальных платежей (СМП). Проведен анализ проблемы управления качеством оказания услуг. Рассмотрены стандарты и ГОСТы управления качеством. Проведено описание методологии проектирования и создания прототипа СППР при работе системы моментальных платежей. Была разработана и предложена схема управления качеством для распределенной системы моментальных платежей. Разработаны и рекомендованы структурная схема системы поддержки принятия решений. Для полноценного функционирования систем моментальных платежей разработана архитектура системы. Также представлена оценка надежности программного обеспечения системы моментальных платежей: приводятся алгоритм оценки надежности, разработана функциональная модель тестирования ПО и расчеты по математическим моделям надежности. Проведена интерпретация результатов тестирования и подведены итоги исследования.

Введение

На сегодняшний день все большее количество людей уделяют внимание системам моментальных платежей. Это связано с активной эволюцией денег как средства платежа. Системы моментальных платежей являются посредниками между реальным и виртуальным миром. Пользователем такой системы может стать любой человек при наличии компьютера, доступа к Интернету и небольшого количества свободного времени. Поэтому резко возрастает актуальность проблематики сферы услуг как системообразующего сектора хозяйства, решающего важные социальные задачи.

Происходящие процессы обусловливают необходимость поиска и внедрения новых информационных технологий для эффективного управления качеством процесса оказания услуг в целях учета и удовлетворения потребностей клиентов и провайдеров.

Постановка задачи

Провайдеры услуг предоставляют сетевые сервисы финансовых операций. Существуют платежные системы, которые предоставляют свои сетевые сервисы для работы с провайдерами услуг, и их число постоянно растет. В условиях децентрализации для эффективной работы необходимо объединение в единое информационное пространство. В любом случае система моментальных платежей предоставляет нам более доступный и удобный способ оплаты счетов за потребленные услуги, поэтому сделать такие платежи качественнее в наших интересах. Система моментальных платежей, по существу, выступает посредником между провайдерами, с одной стороны, и клиентами — с другой. У каждой из сторон, для которой система предлагает услуги, есть свои требования.

Сегодня все компании мира, постепенно переходя к более совершенным и эффективным методам, ориентируются на методологии стратегического управления, включающие в себя множество различных рабочих, основных и вспомогательных инструментов. Одним из основных инструментов совершенствования управления является внедрение системы менеджмента качества. Согласно стандарту ISO 9000 приведем адаптированную под систему моментальных платежей схему системы менеджмента качества (рис. 1).

Модели процесса оказания услуг в СМП

Целесообразность разработки функциональной схемы процесса оказания услуг заключается не только в наглядном представлении «работы» системы качества, но также и в том, что она позволяет выявить и устранить возможные пробелы при организации этой деятельности, когда для выполнения некоторых функций может не оказаться нужных исполнителей. В дальнейшем это позволит обеспечить четкое функционирование системы качества.

Процесс оказания услуги рассматриваем с двух сторон: с одной стороны — клиентам, с другой — провайдерам. На рис. 2 представлен процесс «Оказание услуг клиентам».

Для того чтобы обеспечить качественный процесс «Оказание услуг клиентам», необходимо рассмотреть его подпроцессы более тщательно. Клиент при работе с терминалом для начала запрашивает услугу, которую он хочет оплатить, «Выбор услуги» осуществляется посредством набора требований: удобство интерфейса, распространенная сеть терминалов, ассортимент услуг, законодательная база по качеству, Федеральный закон «О национальной платежной системе», из которых управляемым параметром

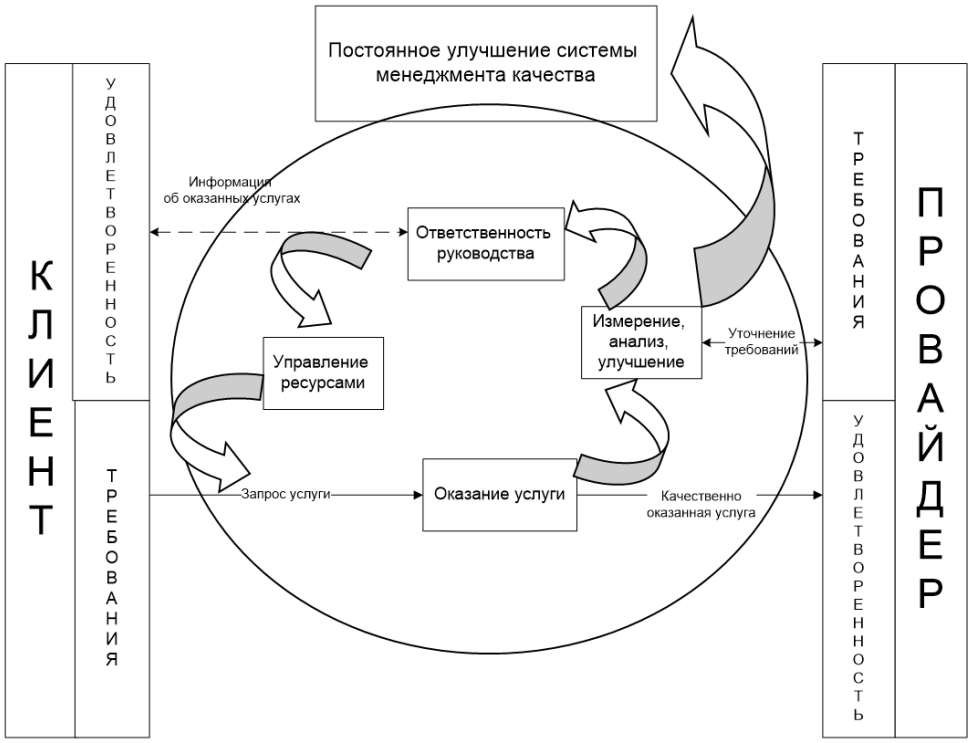


Рис. 1. Цикл управления качеством услуг СМП

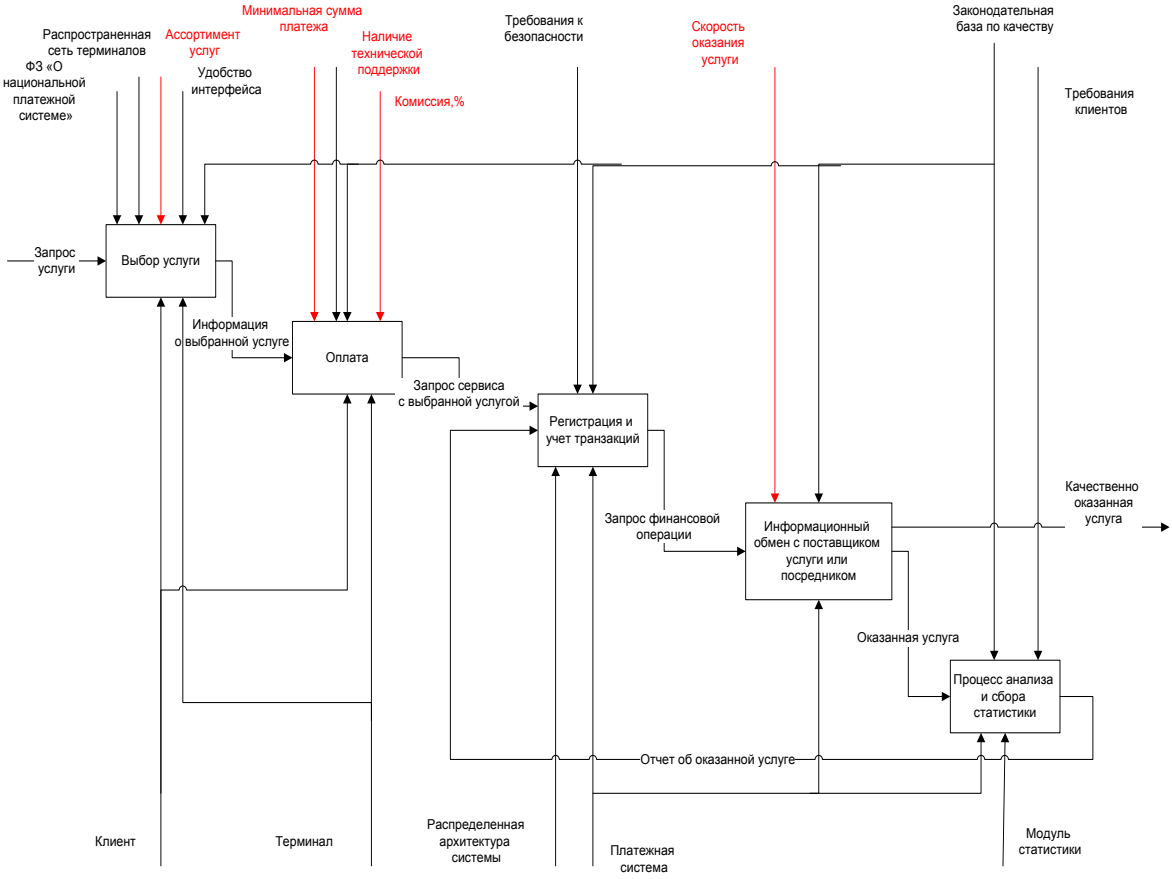


Рис. 2. Декомпозиция процесса «Оказание услуг клиентам»

является ассортимент услуг, предоставленных системой. Клиенту предоставляется информация о выбранной услуге. Далее происходит процесс «Оплаты», где также взаимодействуют клиент и терминал. В процессе «Оплаты» клиенту важно выставить свои требования: наличие технической поддержки, минимальная сумма платежа, комиссия. На выход из процесса «Оплаты» подается запрос сервиса с выбранной услугой. В процессе «Регистрации и учета транзакций» не участвует клиент, потому что работа выполняется самой платежной системой, за счет ее распределенной архитектуры. Но клиент, выдвигая свои требования (требования к безопасности, соответствие законодательной базе по качеству), косвенно влияет на работу данного подпроцесса. На вход в «Информационный обмен с поставщиком услуги или посредником» подается запрос финансовой операции. Механизмом является платежная система. В данном процессе происходит улучшение скорости оказания услуг, что для клиента всегда остается важным аспектом выбора именно данной платежной системы. Если системе удалось удовлетворить требования клиента в оказании услуг, то на выходе мы получаем качественно оказанную услугу. Если же не прошел платеж, то информация об оказанной услуге подается в подпроцесс анализа и сбора статистики, где данные ошибки системы хранятся, анализируются, систематизируются и формируются в отчете об оказанных услугах. Данный отчет и есть обратная связь по входу на подпроцесс «Регистрации и учета транзакций», отсюда заново платежная система ищет выход из ситуации. Таким образом происходит процесс «Оказания услуг клиентам».

На рис. 3 представлен процесс «Оказание услуг провайдерам».

Для того чтобы обеспечить качественный процесс «Оказание услуг провайдерам», необходимо также рассмотреть его подпроцессы более тщательно. Провайдер запрашивает услугу и предоставляет некую информацию о себе, для того чтобы подключить услугу. Главными требованиями провайдера является скорость подключения услуги и соответствие всем федеральным законам и законодательным базам. Процесс «Подключение услуги» проводится администратором и репозиторием услуг. В зависимости от условий договора между провайдером и СМП мы можем рассматривать два подпроцесса — «Предоплата» и «Постоплата». Управляющим требованием провайдера является процент вознаграждения, который выставляется системой. Если в договоре прописано, что будет только постоплата, то на вход процесса «Информационного обмена с поставщиком услуги или посредником» подаются изменения в ассортименте услуг. Механизмом выступают платежная система и провайдер. На данном этапе управляющими параметрами являются требования к

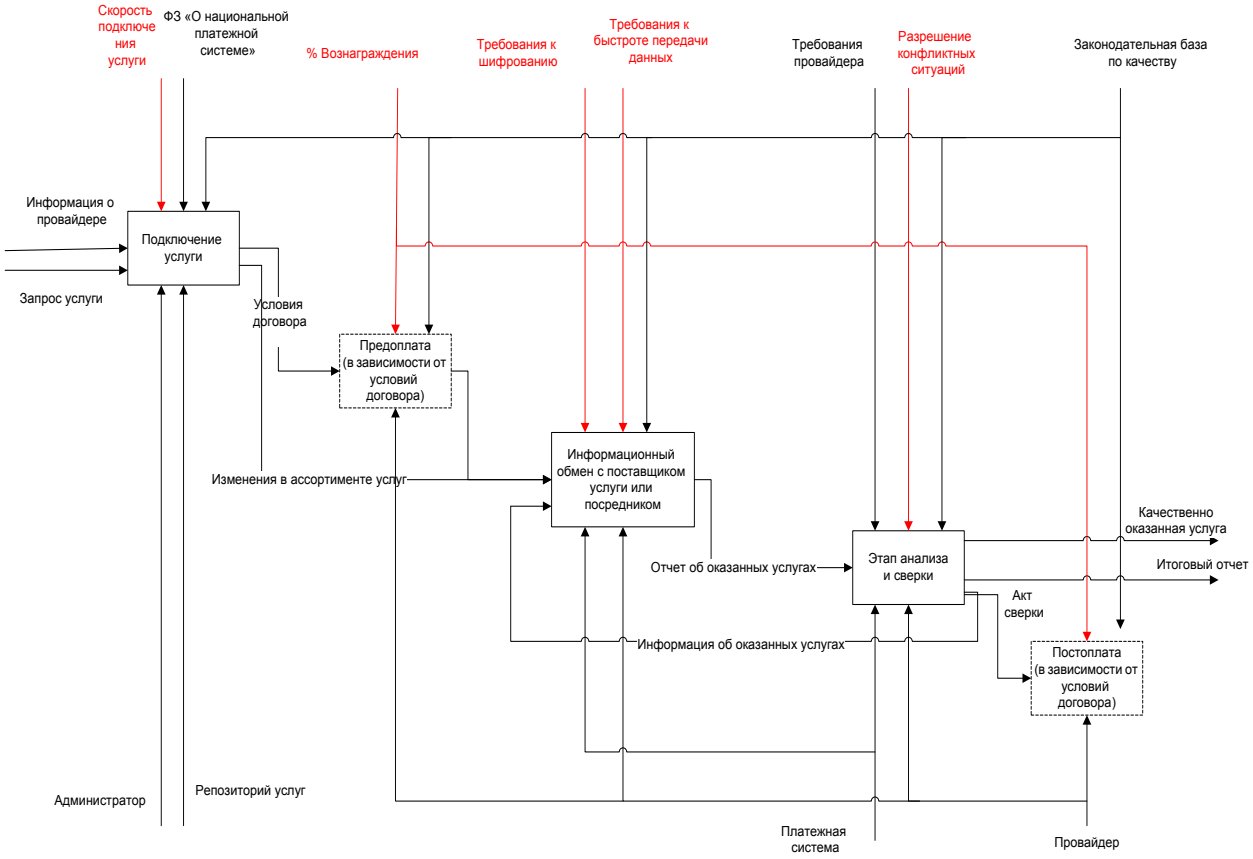


Рис. 3. Декомпозиция процесса «Оказание услуг провайдерам»

быстроте передачи данных и шифрованию. На этапе «Анализ и сверка» предоставляется отчет об оказанных услугах. Основными являются требования провайдера, соответствие законодательной базе по качеству, а управляющим требованием — разрешение конфликтных ситуаций. Если подключение услуги провайдеру вызвало ошибки, то информация об оказанных услугах подается обратной связью на вход в процесс «Информационный обмен с поставщиком услуг или посредником». В конце работы провайдер получает качественно оказанную услугу, итоговый отчет. В зависимости от условий договора происходит процесс «Постоплата», куда на вход подается акт сверки, где изложена вся работа системы моментальных платежей. Таким образом, происходит процесс «Оказание услуг провайдерам».

Разработка схемы управления качеством услуг финансового посредничества

Схема управления качеством услуг представлена на рис. 4.

Здесь S1 — объект управления, S2 — управляющая система, N — информация о состоянии внешней среды (внешние воздействия на объект управления), N' — информация о состоянии внешней среды, имеющаяся в управляющей системе, X — командная информация, Y — информация о состоянии объекта управления, Y' — информация о состоянии объекта управления, имеющаяся в управляющей системе.

Первым этапом работы системы является запрос услуги от клиентов или провайдеров, которые, в свою очередь, формируют источники требований к качественному оказанию услуг. Данная информация подается на вход объекта управления. В нашем случае это оказание услуг. Сформированный набор характеристик оказанных услуг подается на вход в СППР из объекта управления. СППР с помощью модуля информационной поддержки указывает на информацию об улучшении качества на конкретном этапе работы системы. Конкретнее опишем это так: из набора характеристик формируется база данных, где аккумулируется окончательный список требований, выдвигаемый в модуль анализа и статистики. В данном модуле анализируется и структурируется вся собранная информация, которая подается на вход в виде отчета об оказанных услугах. Модуль информационной поддержки взаимодействует с ЛПР, который анализирует информацию о предложенном улучшении качества, вносит свои коррективы, тем самым обеспечивая удовлетворенность услугами и клиентов, и провайдеров.

Разработка структурной схемы СППР

Для решения поставленных задач была разработана структурная схема программного обеспечения (рис. 5), включающая в себя компоненты, взаимодействующие с клиентами (плательщиками), терминальное ПО для точек приема платежей и репозиторий распределенной системы.

Программное обеспечение для точек приема платежей подразделяется на три вида:

– для терминалов самообслуживания, когда клиент самостоятельно оплачивает услуги с использованием терминалов самообслуживания;

– компьютерных рабочих мест, когда платежи принимает и обрабатывает сотрудник агента по приему платежей;

– POS-терминалов, когда платежи принимает и обрабатывает сотрудник агента по приему платежей.

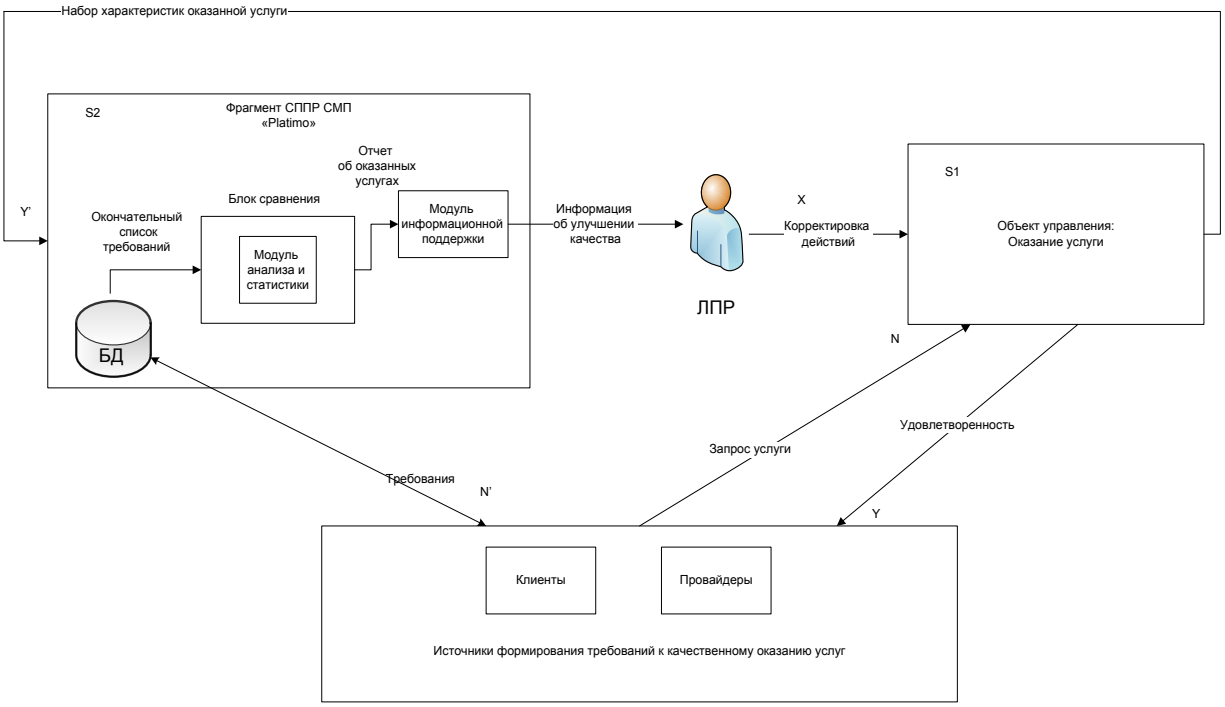


Рис. 4. Схема управления качеством оказания услуг

Создана база знаний, в которой собирается и уточняется список требований от клиентов и провайдеров.

Для работы с модулем проведения платежа предусмотрен модуль анализа и статистики, куда подается информация о наборе характеристик оказанной услуги и уточненные требования из базы знаний.

Из модуля анализа и статистики проанализированная и структурированная информация подается на вход в виде отчета об оказанных услугах.

Модуль информационной поддержки взаимодействует с ЛПР, который собирает информацию о предложенном улучшении качества, вносит свои коррективы, тем самым обеспечивая удовлетворенность услугами и клиентов, и провайдеров.

Архитектура распределенной платежной системы

Предлагается следующая распределенная архитектура программного обеспечения платежной системы (рис. 6), включающая в себя компоненты, взаимодействующие с клиентами (плательщиками) программного обеспечения для точек приема платежей, и компоненты сервера распределенной системы. Понятие «распределённая платёжная система» подразумевает совокупность программно-аппаратных средств, которые позволяют автоматизировать процессы оплаты услуг, предоставляемые операторами и компаниями в различных сферах деятельности человека.

Программное обеспечение терминалов по единому протоколу взаимодействует с платежной системой посредством модуля взаимодействия, через который получают из репозитория информацию о доступных услугах и в который передается информация о платежах.

Пришедшие платежи обрабатываются в модуле выбора способа платежа, который взаимодействует с репозиторием и модулями взаимодействия с операторами или модулями взаимодействия с платежными системами (посредниками).

Для работы с репозиторием предусмотрено два модуля:

– интерфейс управления — предназначен для управления списками услуг, списками агентов, настройки вознаграждений;

– интерфейс получения информации и статистики — предназначен для получения информации о проведенных платежах, отчетов для агентов и операторов услуг.

Модули взаимодействия с операторами и платежными системами взаимодействуют с поставщиками услуг по протоколам, прописанным в репозитории или по прописанному в программном коде протоколу.

Создание распределенного репозитория системы моментальных платежей на основе онтологии

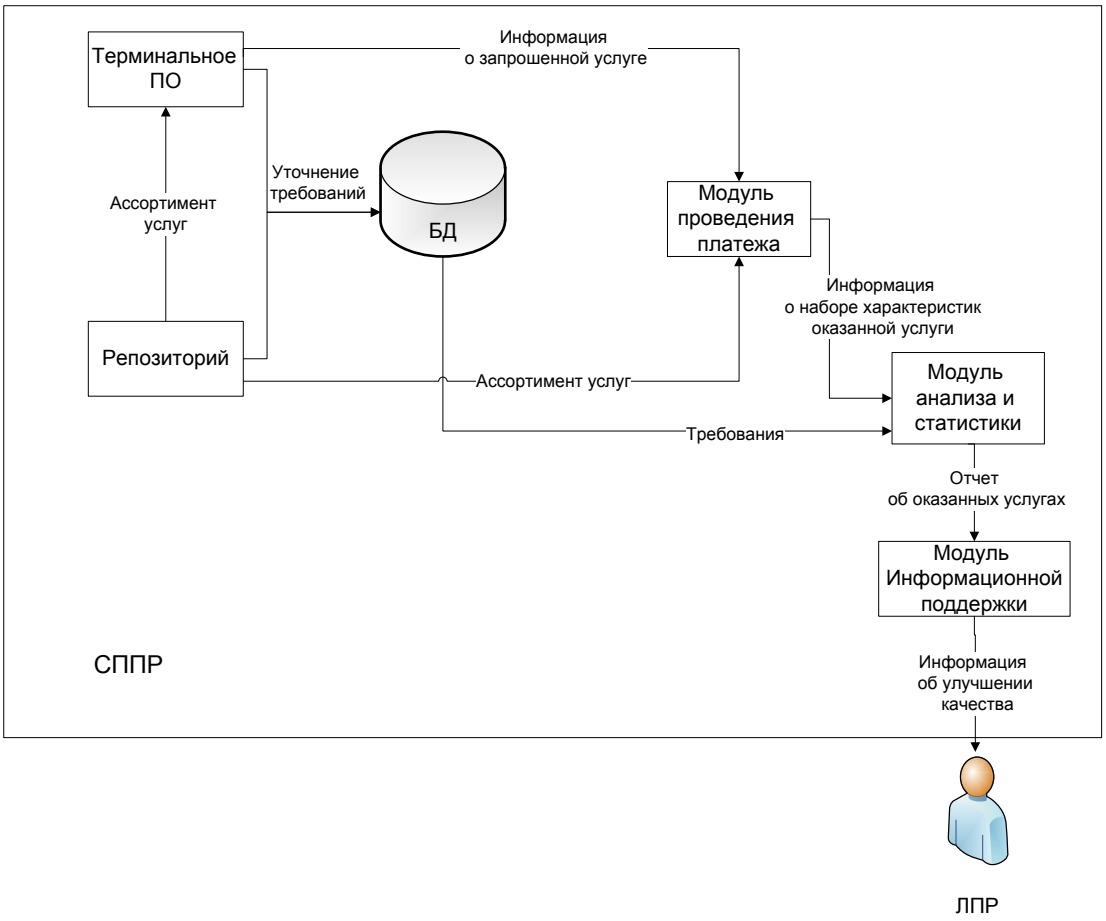


Рис. 5. Структурная схема СППР

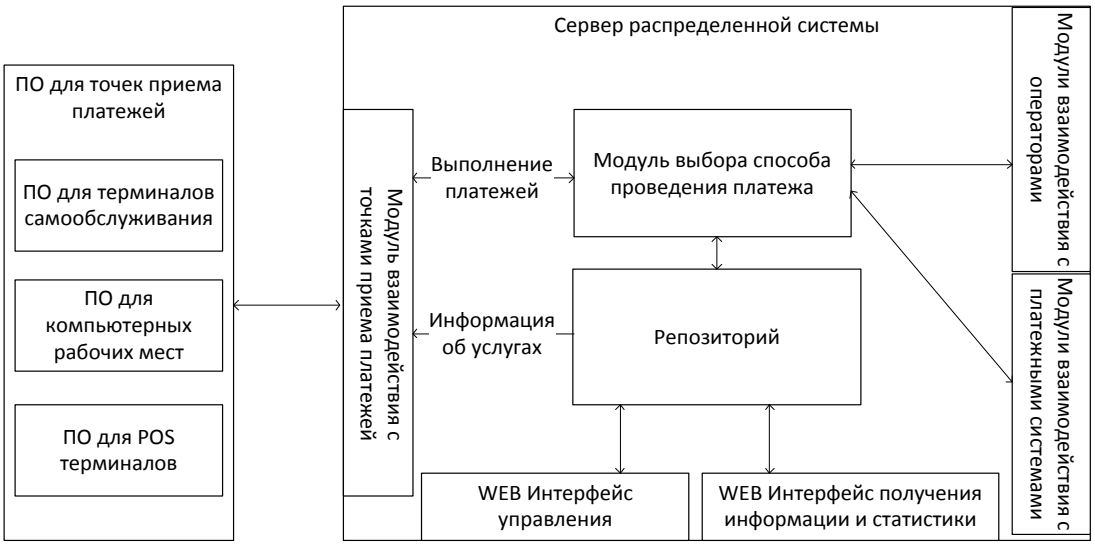


Рис. 6. Архитектура распределенной платежной системы

Разработана концепция функционирования репозитория на основе онтологии, обеспечивающая возможность оказания услуги как напрямую поставщику услуги или через посредника, предоставляющего доступ к услуге.

Репозиторий выполняет следующие функции:

– содержание релевантных классов объектов и их связи;

– конфиденциальность данных;

– редактирование данных;

– полное функционирование с системой моментальных платежей.

Для организации приема платежей в репозитории хранятся разрабатываемые поставщиками протоколы информационного обмена для взаимодействия с ними, которые можно представить как сетевой сервис. Создание и описание функциональности сервиса и опубликование его в сети — задача владельца. Использовать эту информацию могут все — от обычного пользователя до компьютера, выполняющего определенные зачади в автоматизированном процессе.

Рассмотрим структуру репозитория, изображенную на рис. 7. Она состоит из двух логических частей: локальной и распределенной.

Локальная часть содержит информацию о платежах, проведенных через местную часть платежной системы, и информацию о локальных агентах, принявших платежи в пользу операторов услуг.

Распределенная часть синхронизируется между репозиториями распределенной платежной системы и содержит информацию об услугах, поставщиках, протоколах передачи информации, доступна всем

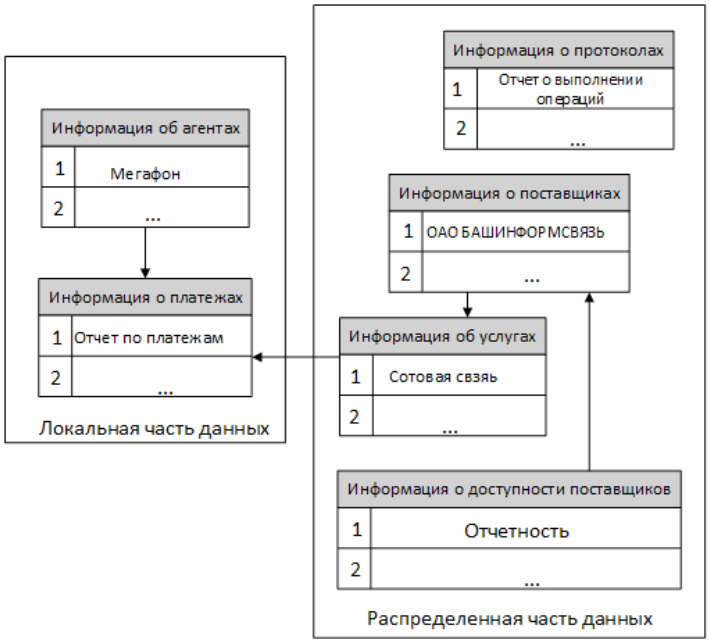


Рис. 7. Структура репозитория платежной системы

участникам распределенной системы и используется для определения оптимального между посредниками или поставщиком услуги способа проведения платежа.

Использование единого семантического описания сервисов позволяет интегрировать в рамках одной платежной системы оказание клиентам оплаты услуг как имеющихся провайдеров, так и будущих, при этом подключение нового провайдера является простой тривиальной операцией.

Для реализации репозитория был выбран пакет Protégé. Пример интерфейса представлен на рис 8.

Для наглядной визуализации иерархии классов был использован модуль Jambalaya (рис. 9).

Анализ эффективности разработанной онтологии

Актуальная проблема современного онтологического инжиниринга — это оценка качества онтологий. Разными группами ученых разработано множество различных подходов в области оценки онтологий. На данный момент известно большое количество методов и способов оценки онтологии и в месте с этим растет и сложность выбора подходящей методики.

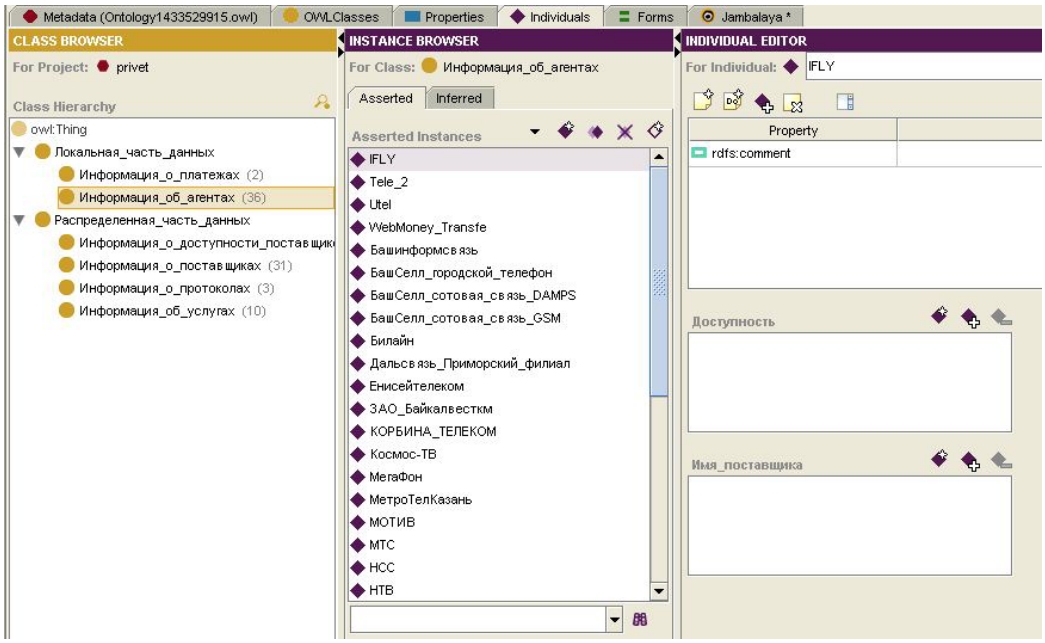


Рис. 8. Сущность класса «Информация об агентах»

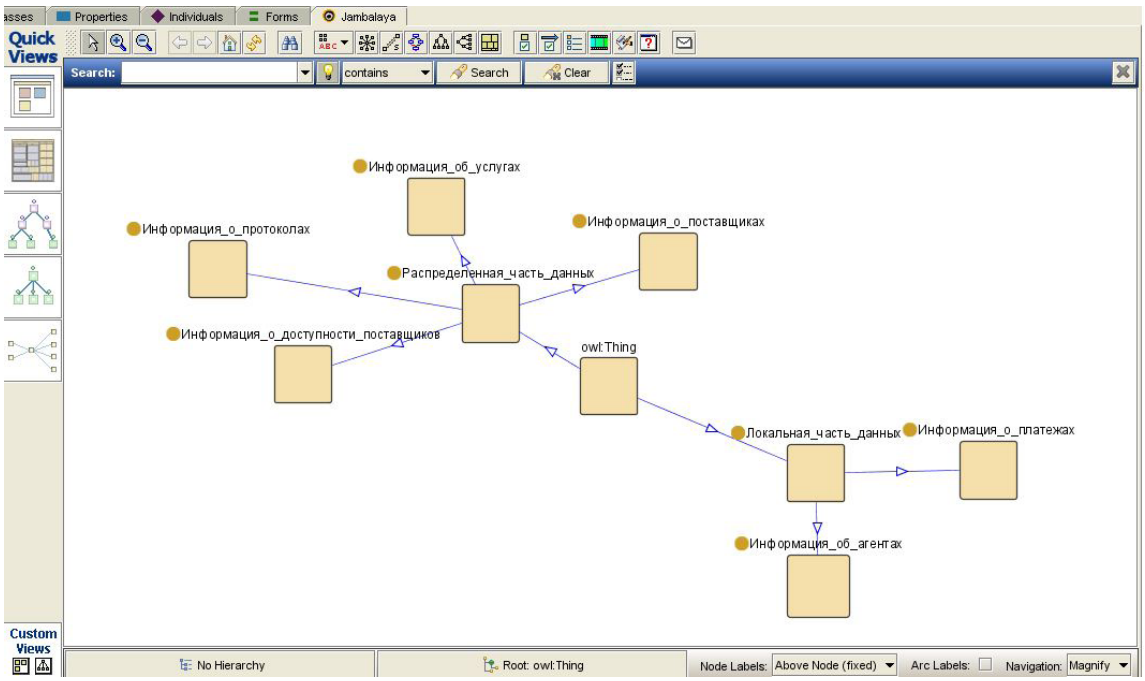


Рис. 9. Визуализация классов

Существующие методы оценки онтологий ставят перед собой одну из следующих целей:

– полнота и точность словаря предметной области;

– адекватность структуры с точки зрения таксономии, отношений и т. п.;

– воспринимаемость (с когнитивной точки зрения);

– производительность при использовании в приложениях.

Оценим разработанную онтологию с этих точек зрения. В таблице приводится достаточно много метрик, используемых для анализа качества онтологии, часть из которых рассчитывается на основе топологии графа онтологии. Приведем здесь те из них, которые относятся к метрикам когнитивной эргономичности.

Все результаты вычисления так или иначе подходят под рекомендованные, можно сделать вывод об эффективности онтологии, с точки зрения когнитивной эргономики. Методы оценки когнитивной эргономичности также можно применять для оценки онтологий одной и той же предметной области, сделанных разными людьми/командами. Посчитанные метрики помогут понять, какая из них лучше с точки зрения когнитивной эргономики, и сделать выбор в пользу одной из них в случае, если оценки других важных критериев отличаются непринципиально.

Оценка надежности распределенной системы моментальных платежей

В международном стандарте ISO 9126:1991 надежность, то есть свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования, выделена как одна из основных характеристик качества программного обеспечения.

Для того чтобы оценить надежность системы в процессе эксплуатации и хранения объекта, необходимо эту систему протестировать. Проведение качественного нагрузочного тестирования должно стать обязательным для обеспечения стабильности работы данной системы. Нагрузочное тестирование — это автоматизированное тестирование, имитирующее работу определенного количества бизнес-пользователей на каком-либо общем (разделяемом ими) ресурсе. После проведения тестирования результаты обрабатываются на основе моделей надеж-

Параметры анализа качества онтологии

Название	Описание / Алгоритм вычисления	Комментарии и рекомендации	Расчетный показатель
Абсолютная глубина	Сумма длин всех путей графа	Чем больше глубина, тем труднее граф поддается восприятию	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + + 8 + 9 = 44
Средняя глубина	Абсолютная глубина, деленная на количество путей в графе		44/10 = 4,4
Максимальная глубина	Максимальная длина пути		1 + 2 + 5 + 7 + 9 + 3 = 27
Абсолютная ширина	Сумма количества вершин для каждого уровня иерархии по всем уровням	Чем она меньше, тем лучше в аспекте когнитивной эргономики	9
Средняя ширина	Абсолютная ширина, деленная на количество уровней иерархии		2,25
Максимальная ширина	Равняется количеству вершин на самом большом уровне		4
Минимальная ширина	Абсолютная ширина, деленная на количество уровней иерархии		1
Запутанность онтологии	Количество вершин графа онтологии, деленное на количество вершин, у которых есть суперкласс	Чем меньше итоговое значение, тем лучше онтология в аспекте когнитивной эргономики	0
Отношение количества классов к количеству свойств	Чем больше, тем легче воспринимать онтологию		1
Вершины с несколькими родителями	Количество вершин, имеющих более одного родителя		9/84 = 1/ 9,3 = 0,1
Среднее количество родительских вершин у вершины графа	$m = \frac{1}{n_g}\sum_{V}^{G} N_{S_{v\in G}}$ $N_{S_{v\in G}}$ — количество всех родителей у вершины V	Более предпочтительны небольшие значения этих метрик	$\frac{1}{9}\sum_{V}^{G} 2 = 0,2$

ности ПО, в нашем исследовании были выбраны модели La Padula, Джелинского — Моранды и Миллса.

Рассмотрим процесс тестирования программного обеспечения СМП (рис. 10).

При проведении тестирования программного обеспечения выявилось 5 отказов при количестве запросов, равном 100. Также мы получили время обнаружения ошибок. Основываясь на вышеперечисленных данных, проведем ко второму этапу исследования системы на надежность — расчету показателей по моделям надежности.

Модель La Padula

Входные данные: число ошибок (число отказов); число этапов тестирования.

Используем следующие расчетные формулы:

$$R(i) = 1 - A/2,\ i = 1, 2, \ldots, \quad (1)$$

$$R(\infty) = \lim_{i\to\infty} R(i), \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\left[\frac{S_i - m_i}{S_i} - 1 + \frac{A_i}{i}\right] = 0. \quad (3)$$

Дано: известно, что проводилось 100 тестов в 4 этапа и обнаружено всего 5 ошибок. То есть

$$S_4 = \begin{bmatrix}25\\25\\25\\25\end{bmatrix},\ m_4 = \begin{bmatrix}1\\1\\1\\2\end{bmatrix},\ i = \overline{1,4},\ m = 5.$$

Рассчитаем модель:

При $i = 1$ подставим данные в формулу (3):

$$\frac{25-1}{25} - 1 + \frac{A}{1} = 0.$$

Получаем: $A = 0{,}04$.

При $i = 2$ подставим данные в формулу (3):

$$\frac{25-1}{25} - 1 + \frac{A}{2} = 0.$$

Получаем: $A = 0{,}02$.

При $i = 3$ подставим данные в формулу (3):

$$\frac{25-1}{25} - 1 + \frac{A}{3} = 0.$$

Получаем: $A = 0{,}013$.

При $i = 4$ подставим данные в формулу (3):

$$\frac{25-2}{25} - 1 + \frac{A}{4} = 0.$$

Получаем: $A = 0{,}02$.

Рассчитаем надежность на каждом из четырех этапах:

При $A = 0{,}04$ подставим данные в формулу (1):

$$R(1) = 1 - \frac{0{,}04}{1} = 0{,}96.$$

При $A = 0{,}02$ подставим данные в формулу (1):

$$R(2) = 1 - \frac{0{,}02}{2} = 0{,}99.$$

При $A = 0{,}013$ подставим данные в формулу (1):

$$R(3) = 1 - \frac{0{,}013}{3} = 0{,}99.$$

При $A = 0{,}02$ подставим данные в формулу (1):

$$R(4) = 1 - \frac{0{,}02}{4} = 0{,}99.$$

Из рис. 11 видно, что в процессе проведенных тестов прогнозируемое значение надежности приближается к 1. Модель La Padula является прогнозной моделью, и на основании данных тестирования

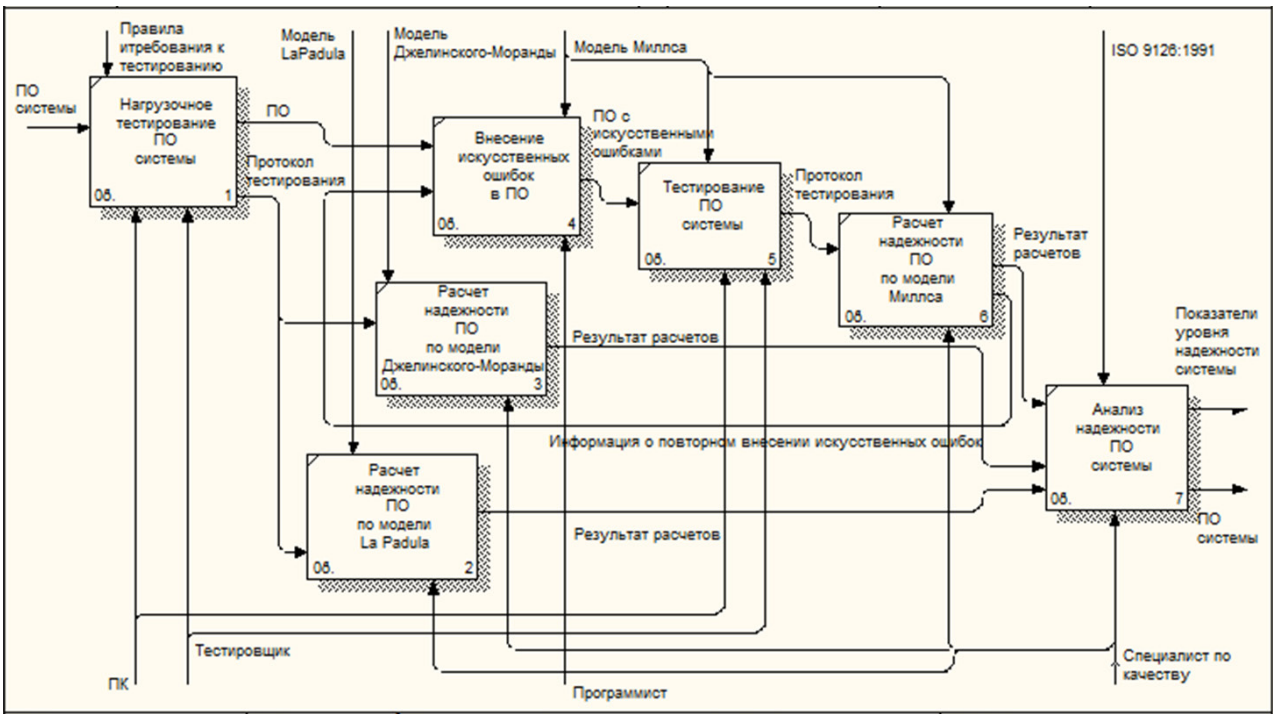


Рис. 10. Декомпозиция функциональной модели тестирования ПО

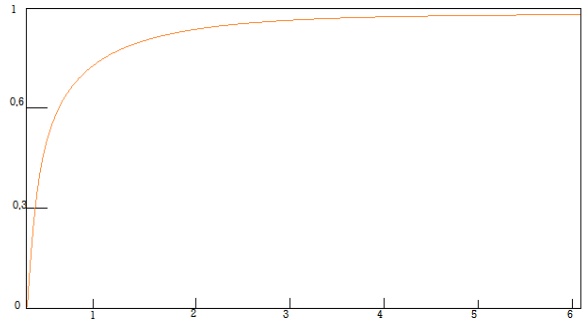


Рис. 11. График надежности по модели La Padula

можно говорить о том, что вероятность безотказной работы программы на последующих этапах ее выполнения высока, то есть мы делаем вывод о том, что программное обеспечение рассматриваемой системы надежное.

Модель Джелинского — Моранды

Входные данные: время между ошибками.

Используем следующие расчетные формулы:

$$C_D = \sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{N-i+1} \Big/ \sum_{i=1}^{k-1} t_i . \quad (4)$$

$$\lambda_i = C_D \left(N-(i-1)\right). \quad (5)$$

$$t_i = 1/\lambda_i . \quad (6)$$

$$P(t_i) = e^{-\lambda_i t_i} . \quad (7)$$

Дано: в ходе тестирования зафиксировано 5 ошибок программного обеспечения системы, между которыми интервалы времени соответственно равны: $t_1 = 30$, $t_2 = 63$, $t_3 = 87$, $t_4 = 54$, $t_5 = 56$ с. Необходимо определить вероятность $P(t_i) = e^{-\lambda_i t_i}$ наличия следующего, то есть шестого отказа. Следовательно, N принимаем равным 6 ($N = 6$).

Рассчитаем модель: так как в нашем случае известно число N, то перейдем к нахождению коэффициента пропорциональности (CD).

Используем (4) и тогда получим:

$$C_D = \frac{\frac{1}{6}+\frac{1}{5}+\frac{1}{4}+\frac{1}{3}+\frac{1}{2}}{30+63+87+54+56} \approx 0{,}005.$$

Из (5): $\lambda_6 = 0{,}005\left(6-(6-1)\right) = 0{,}005.$

Следовательно, среднее время (в секундах) до следующего отказа найдем из (6). Имеем:

$$t_6 = 1/\lambda_6 = 1/0{,}005 = 200.$$

Тогда, подставляя в (7) найденные значения λ_6 и t_6, получим вероятность наличия шестого отказа:

$$P(t_6) = e^{-0{,}005 \cdot 200} = e^{-1} \approx 0{,}37.$$

Рассчитав надежность по модели Джелинского — Моранды, можно сделать вывод о высоком уровне надежности системы в целом, так как полученное значение вероятности присутствия следующего отказа достаточно маленькое (0,37).

Модель Миллса

Входные данные: число отказов и число искусственных ошибок.

Используем следующие расчетные формулы:

$$N = n\frac{S}{V}; \quad (8)$$

$$p = \begin{cases} 0, & \text{если } n > K; \\ \dfrac{S}{S+K+1}, & \text{если } n \le K. \end{cases} \quad (9)$$

Дано: изначально перед тестированием программного обеспечения было внесено 17 искусственных ошибок. В процессе тестирования выявлено 5 собственных и 8 внесенных ошибок. То есть: $S = 17$, $n = 5$ и $V = 8$ соответственно. Далее тестирование системы было проведено второй раз, причем утверждается, что в программе нет ошибок ($K = 0$). Также внесли 20 искусственных отказов ($S = 20$), которые в процессе тестирования обнаружены, однако при этом не выявлено ни одной собственной ошибки ($n = 0$).

При первом тестировании по формуле Миллса (8) выдвигается предположение, что первоначально количество ошибок равно: $N = 5 \cdot \frac{17}{8} \approx 11.$

При втором тестировании $K = n$ (так как 0 = 0), тогда из (9) имеем, что

$$p = \frac{S}{S+K+1} = \frac{20}{20+0+1} = 0{,}95.$$

Как видно из результатов по расчетам математической модели Миллса, с вероятностью 0,95 ($p = 0{,}95$) можно утверждать, что в программном обеспечении нет ошибок. Это, в свою очередь, свидетельствует о том, что уровень надежности является высоким.

Заключение

Новизна и практическая значимость полученных результатов состоит в следующем:

– исследованы экономическая сущность и основные виды деятельности системы моментальных платежей;

– разработаны модели процессного подхода, схема управления качеством для распределенной системы моментальных платежей;

– разработаны архитектура, схема системы поддержки принятия решений, алгоритм, правила управления качеством распределенной системы моментальных платежей;

– разработаны рекомендации по повышению качества обслуживания и увеличению прибыли.

Построение децентрализованного репозитория на основе онтологии представляет большой интерес для

существующих систем моментальных платежей, так как в нем хранятся все сущности и связи между внутренними компонентами системы, что снижает риск выхода системы из строя из-за утери данных. Разработанная онтология в среде разработки Protege включает в себя 2 класса, 6 подклассов и 83 атрибута. Проведена оценка эффективности онтологии с помощью метрик, используемых для анализа качества онтологии, которая показала, что созданная онтология является эффективной в аспекте когнитивной эргономики.

Проведена оценки надежности предлагаемой системы моментальных платежей. Выполнено нагрузочное тестирование ПО. Проведены расчеты по трем выбранным математическим моделям надежности. По первой модели La Padula получили оценку, которая свидетельствует о том, что прогнозируемое значение надежности приближается к единице, следовательно, система имеет высокий уровень надежности. Расчеты по модели Джелинского — Моранды показали, что вероятность наличия следующего отказа обладает маленьким значением ($p = 0{,}37$), значит, система обладает высоким уровнем надежности. Результат оценки надежности по модели Миллса также сводится к выводу о том, что система имеет высокий уровень надежности, так как итоги расчетов со значением вероятности, близкой к единице ($p = 0{,}95$) позволяют, утверждать, что в программном обеспечении нет ошибок.

Библиографический список

1. Багаутдинова, Н. Формирование системы менеджмента качества / Н. Багаутдинова // Проблемы теории и практики упр. 2006. № 1. С. 17–21.
2. Анфилатов, В. С. Системный анализ в управлении : учеб. пособие / В. С. Анфилатов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин. М. : Финансы и стаститика, 2002.
3. Котельников, В. А. Архитектура распределенной системы моментальных платежей / В. А. Котельников // Интеллектуальные системы обработки информации и управления : сб. ст. Регион. зимней шк.-семинара аспирантов и молодых ученых, 16–19 февр. 2006. Уфа : Технология, 2006. Т. 2.
4. Юсупова, Н. И. RDF-технологии предоставления сервисов мобильным пользователям в беспроводных сетях / Н. И. Юсупова, Д. В. Попов, И. А. Вайнерман, Б. Кёних-Риз // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. VI Междунар. конф. Самара, 2004. С. 203–208.
5. Котельников, В. А. Онтологическое описание сетевых сервисов для распределенной системы финансовых операций / В. А. Котельников // Труды Казанской школы по компьютерной и когнитивной лингвистике, TEL-2006. Казань : Отечество, 2007. С. 127–138.
6. Котельников, В. А. Разработка сетевых сервисов на основе онтологий для интернет-коммерции: принципы и технологии / В. А. Котельников, Д. В. Попов // Обозрение приклад. и пром. математики. 2008. Т. 15, вып. 1. С. 145–148.
7. Гаврилова, Т. А. Оценка когнитивной эргономичности онтологии на основе анализа графа / Т. А. Гаврилова, В. А. Горовой, Е. С. Болотникова // Искусств. интеллект и принятие решений. 2009. № 3.
8. Василенко, Н. В. Модели оценки надежности программного обеспечения / Н. В. Василенко, В. А. Макаров // Вестн. Новгород. гос. ун-та. 2004. № 28.
9. ISO 9126:1991. Информационная технология. Оценка программного продукта. Характеристики качества и руководство по их применению.
10. Майерс, Г. Надежность программного обеспечения / Г. Майерс. М. : Мир, 1980. 360 с.

Сведения об авторах

Котельников Виталий Александрович — старший преподаватель кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного технического университета. vit_kot@mail.ru

Юсупова Нафиса Исламовна — доктор технических наук, профессор, , заведующая кафедрой вычислительной математики и кибернетики, декан факультета информатики и робототехники Уфимского государственного авиационного технического университета. yussupova@ugatu.ac.ru

Богданова Диана Радиковна — доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. dianochka7bog@mail.ru

V. A. Kotelnikov, N. I. Yusupova, D. R. Bogdanova

DECISION SUPPORT IN THE QUALITY MANAGEMENT OF FINANCIAL INTERMEDIATION SERVICES IN THE SYSTEM OF INSTANT PAYMENTS BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY

The article is devoted to the decision support system in the provision of financial intermediation services in the system of instant payments. The paper analyzes the problem of quality management services. We consider quality management standards. We have given the description of the methodology for the design and creation of a prototype Decision Support Systems in the instant payments. It was developed and proposed a scheme of quality management for a distributed system of instant payments. Recommended and developed a block diagram of a decision support system. For a full functioning system of instant payments, we developed a system architecture. Also in the article, we will present an assessment of the software reliability of the instant payments system. It provides reliability evaluation algorithm, developed a functional model of software testing and calculations on mathematical models of reliability. Also, we interpret the test results.

ББК У291.823.3-21
УДК 658.562

Р. Р. Курунова

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА «ДОМ КАЧЕСТВА» ДЛЯ СЛУЧАЯ ОБРАБОТКИ НЕСОВПАДАЮЩИХ ОЦЕНОК ГРУППЫ ЭКСПЕРТОВ

Исследования проводились в рамках гранта РФФИ № 14-08-97036

Рассматривается случай развертывания функции качества для разрабатываемого изделия при различающихся оценках группы экспертов. Предложен подход, который позволяет сформировать сводную матрицу связи для «Дома качества».

Развертывание функции качества (QFD — Quality Function Deployment) является известным формальным аппаратом, который позволяет провести оценку свойств изделия как с точки зрения потребителя, так и с точки зрения разработчика. Такая комплексная оценка возможна благодаря инструменту QFD — «Дом качества». Развертывание функции качества — это процесс, который представляет структуру всего цикла разработки [1].

Рассмотрим подробнее структуру «Дома качества» (рис. 1). На рисунке номерами отмечены основные составляющие «Дома качества» [2; 3]. В табл. 1 представлено описание содержания составляющих для первого «Дома качества» — «преобразование требований заказчика в характеристики изделия». Каждый последующий «Дом качества» имеет тот же принцип формирования и основывается на предыдущем.

Матрицы связи (3, 6, 7) формируются экспертами в той области, которой принадлежит исследуемое разрабатываемое изделие. Эксперты определяют силу взаимосвязи, опираясь на собственный опыт и знания. Каждый из множества экспертов может составить собственные матрицы связи, которые могут отличаться от оценок других экспертов. Предложим метод формирования сводной матрицы связи на основе совокупности несовпадающих оценок экспертов.

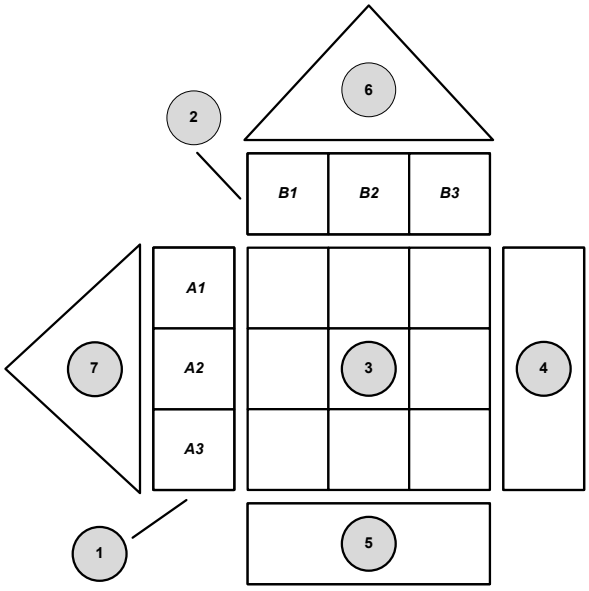


Рис. 1. Структура «Дома качества»

Рассмотрим подробнее матрицу связи 3. Сила связи выражается конечным набором лингвистических переменных [4], который применяется при формировании «Дома качества» [2; 3]:

– сильная взаимосвязь;
– средняя взаимосвязь;
– слабая взаимосвязь;
– взаимосвязь отсутствует.

Если представить влияние требования потребителя на техническую характеристику изделия как граф, состоящий из двух вершин [5], то множество ребер, соединяющих их, будут отражать силу связи, оцениваемую каждым из экспертов (рис. 2).

Каждому значению лингвистических переменных соответствует своя нечеткая функция принадлежно-

Таблица 1

Состав «Дома качества»

№ п/п	Описание составляющей
1	Требования потребителей, предъявляемые к изделию
2	Технические характеристики изделия
3	Матрица связи требований потребителей и технических характеристик
4	Рейтинг важности для потребителя каждого требования, сравнение реализации требования в создаваемом изделии с реализацией требований в существующих изделиях аналогичного назначения
5	Рейтинг технических характеристик по сравнению с характеристиками изделий аналогичного назначения
6	Матрица связи технических характеристик («крыша») — отображает влияние технических характеристик друг на друга
7	Матрица связи требований потребителей («крыльцо») — отображает влияние требований друг на друга

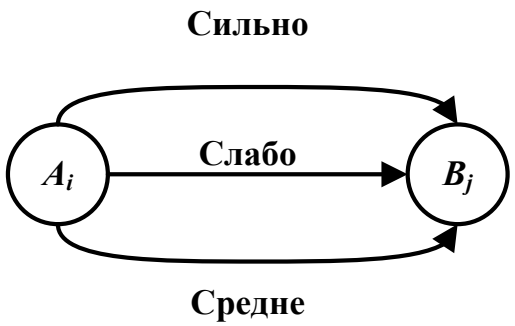


Рис. 2. Множество оценок силы связи разными экспертами

сти μ, которая определяется на оси балльных оценок (от 0 до 10). Функция принадлежности в общем случае может быть задана аналитически следующим выражением:

$$f\Delta(x;a,b,c,d) == \begin{Bmatrix} 0, & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a}, & a \le x \le b \\ 1, & b \le x \le c \\ \dfrac{d-x}{d-c}, & c \le x \le d \\ 0, & d \le x \end{Bmatrix}, \qquad (1)$$

где a, b, c, d — некоторые числовые параметры, принимающие произвольные значения и упорядоченные отношением $a \le b \le c \le d$.

Выражению 1 соответствует трапециевидная функция принадлежности, которая в частном случае принимает треугольный вид. Согласно выражению 1, по мере удаления от центрального значения лингвистической переменной, которой соответствует максимум функции, степень принадлежности равномерно убывает. Это обусловлено тем, что отсутствует информация о том, что скорость изменения степени принадлежности по мере удаления от центра диапазона различна, поэтому, согласно принципу максимизации энтропии [6], следует считать ее одинаковой. Таким образом, получаем треугольную функцию принадлежности в середине шкалы балльных оценок. В крайних положениях скорость убывания (возрастания) после максимума функции принадлежности не меняется, поэтому получаем трапециевидную функцию принадлежности.

Выбор вида функции принадлежности для каждой лингвистической переменной – отдельная задача, которую решать следует в каждом конкретном случае по-разному. Однако вид функции принадлежности не влияет на общую схему формирования матрицы связи по совокупности оценок экспертов.

Вид функций принадлежности для матрицы связи (3) «Дома качества» показан на рис. 3. Опираясь на выражение 1, можно получить четыре функции принадлежности для каждого из четырех лингвистических термов.

Мнения экспертов при оценке силы взаимосвязи зачастую могут отличаться. Формальный аппарат, описанный в [7], с применением трапециевидных и треугольных функций принадлежности лингвистических термов позволит однозначно оценить силу связи требований потребителя и технических характеристик с учетом мнений всех экспертов, участвующих в построении матрицы связи.

Эксперт выражает свое мнение о силе взаимосвязи требования на техническую характеристику одной из лингвистических переменных:

– «Сильно»;
– «Средне»;
– «Слабо»;
– «Нет взаимосвязи».

Кроме того, эксперт указывает процент или долю [0; 1] своей уверенности в выбранном значении силы взаимосвязи (μ_j). Для каждой пары вершин графа («требование потребителя» — «техническая характеристика») сила взаимосвязи Z определяется по формуле 2 [7]:

$$Z = \frac{\sum_{j=1}^{n} \mu_j \times w_j}{\sum_{j=1}^{n} \mu_j}. \qquad (2)$$

Здесь w_j является опорным значением, которое определяется положением максимума функции принадлежности j-й лингвистической переменной. Значение силы взаимосвязи определяется такой лингви-

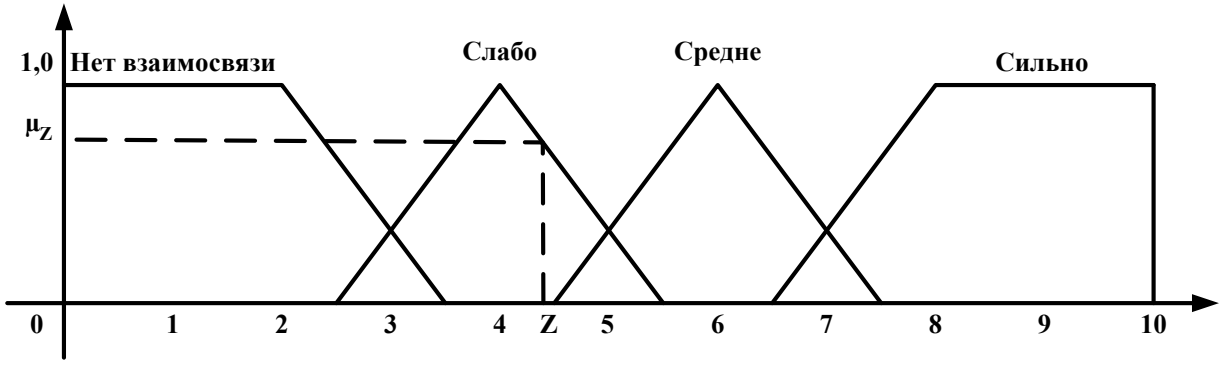


Рис. 3. Функции принадлежности лингвистических термов для матрицы связи

	B1	B2	B3	B4
A1	**Сил**		**Сл**	
A2		**Ср**		
A3	**Сил**		**Ср**	
A4				**Ср**

Эксперт 1

	B1	B2	B3	B4
A1	**Ср**		**Сил**	
A2		**Сл**		
A3	**Ср**		**Ср**	
A4				**Сил**

Эксперт 2

	B1	B2	B3	B4
A1	**Сл**		**Сл**	
A2			**Сил**	
A3	**Ср**		**Сил**	
A4				**Сил**

Эксперт 3

	B1	B2	B3	B4
A1	**Ср**		**Ср**	
A2		**Сл**		
A3	**Ср**		**Сил**	
A4				**Сил**

Эксперт 4

Рис. 4. Вид матриц связи «Дома качества» при учете оценок четырех разных экспертов

стической переменной, опорное значение которой ближе всего к полученному значению *Z*.

Рассмотрим пример для случая формирования матрицы связи по оценкам четырех экспертов (рис. 4).

Кроме силы взаимосвязи эксперты указывают долю уверенности в своем решении по каждой взаимосвязи (табл. 2).

Таблица 2

Доля уверенности каждого эксперта в указанной силе взаимосвязи матрицы связи

Связь	Э1	Э2	Э3	Э4
A1–B1	0,7	0,8	0,8	0,6
A1–B3	0,9	0,6	0,7	0,7
A2–B2	0,6	0,9	1	0,9
A2–B3	1	1	0,7	1
A3–B1	0,7	0,9	0,6	0,6
A3–B3	0,8	0,9	0,6	0,8
A4–B4	0,8	0,6	0,7	0,9

По формуле 2 рассчитаем итоговые значения матрицы корреляции по оценкам трех экспертов. Опорным значением для лингвистической переменной «сильно» по рис. 3 является значение 8; опорным значением для лингвистической переменной «средне» является значение 6; для лингвистической переменной «слабо» — 4; «нет взаимосвязи» — 2. При этом будем считать, что если эксперт не указывает наличие взаимосвязи, то он уверен в этом с долей уверенности, равной единице.

$$Z_{A1-B1} = \frac{8\times 0,7 + 6\times 0,8 + 4\times 0,8 + 6\times 0,6}{0,7+0,8+0,8+0,6} = 5,9;$$

$$Z_{A1-B3} = \frac{4\times 0,9 + 8\times 0,6 + 4\times 0,7 + 6\times 0,7}{0,9+0,6+0,7+0,7} = 5,3;$$

$$Z_{A2-B2} = \frac{6\times 0,6 + 4\times 0,9 + 2\times 1 + 4\times 0,9}{0,6+0,9+1+0,9} = 3,8;$$

$$Z_{A2-B3} = \frac{2\times 1 + 2\times 1 + 8\times 0,7 + 2\times 1}{1+1+0,7+1} = 3,1;$$

$$Z_{A3-B1} = \frac{8\times 0,7 + 6\times 0,9 + 6\times 0,6 + 6\times 0,6}{0,7+0,9+0,6+0,6} = 6,5;$$

$$Z_{A3-B3} = \frac{6\times 0,8 + 6\times 0,9 + 8\times 0,6 + 8\times 0,8}{0,8+0,9+0,6+0,8} = 6,9;$$

$$Z_{A4-B4} = \frac{6\times 0,8 + 8\times 0,6 + 8\times 0,7 + 8\times 0,9}{0,8+0,6+0,7+0,9} = 7,4.$$

Итоговая матрица связи отображена на рис. 5.

	B1	B2	B3	B4
A1	**Ср**		**Ср**	
A2		**Сл**	**Сл**	
A3	**Ср**		**Ср**	
A4				**Сил**

Рис. 5. Итоговая матрица связи «Дома качества»

Сила взаимосвязи из каждого полученного значения определяется по функциям принадлежности лингвистических термов, отображенных на рис. 3.

Предложенный подход позволяет провести анализ качества разрабатываемого изделия по совокупности различающихся оценок группы экспертов. Основу подхода составляет системное сочетание методологии «Дом качества» и формального аппарата функции принадлежности. Предлагаемый подход по совокупности различающихся оценок группы экспертов позволяет получить интегральную оценку, характеризующую связь требований заказчика к техническим характеристикам изделия.

Библиографический список

1. Bossert, J. L. Quality Function Deployment : A practitioner's Approach / J. L. Bossert. ASQC Quality Press, 1991.
2. Bahill, A. T. A Tutorial on Quality Function Deployment / A. T. Bahill, W. L. Chapman // Engineering Management J. 1993. Vol. 5, № 3. P. 24–25.
3. Mazur, G. H. QFD for service Industries from Voice of Customer to Task Development / G. H. Mazur // The Fifth Symposium on Quality Function Deployment Novi, Michigan. Japan Business Consultant, Ltd., 1993. P. 485–503.
4. Алтунин, А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях / А. Е. Алтунин, М. В. Семухин. Тюмень : Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2000. 352 с.
5. Гвоздев, В. Е. Выявление противоречий в требованиях к программному продукту на основе исследования непрямых связей между ними / В. Е. Гвоздев, О. Я. Бежаева, Р. Р. Курунова // Програм. инженерия. 2015. № 7. С. 11–20.
6. Трайбус, М. Термостатика и термодинамика / М. Трайбус. М. : Энергия, 1970. 504 с.
7. Pelaez, E. Using Fuzzy Cognitive Maps as System Model for Failure Modes and Effects Analysis / E. Pelaez, J.W. Bowles // Information Sciencies. 1196. № 88. P. 177–199.

Сведения об авторе

Курунова Роксана Рафаилевна — аспирант кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета, инженер АО «НИИ "Солитон"». roksana.kurunova@gmail.com

---

R. R. Kurunova

USING THE MACHINE "HOUSE OF QUALITY" FOR THE CASE OF PROCESSING OF INCOINCIDENT ESTIMATIONS OF THE GROUP OF EXPERTS

Considering the case the deployment of the quality function for the developed products at differing estimations of the expert group. An approach that allows form a consolidated matrix of correlation for the "House of Quality".

ББК 31-5-05
УДК 519.76

Л. В. Массель, А. Г. Массель

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕМИОТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ В КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУРАХ (на примере энергетики)

Описан предлагаемый авторами подход к разработке интеллектуальных систем семиотического типа для стратегического ситуационного управления в критических инфраструктурах (на примере энергетики). Рассматривается отображение общей схемы ситуационного управления, предложенной Д. А. Поспеловым, на авторские инструментальные средства семантического моделирования. Выполнен онтологический инжиниринг проблемы ситуационного управления. Предложена архитектура ситуационного полигона как прототипа интеллектуальной системы семиотического типа, которая включает в себя, кроме инструментальных средств семантического моделирования, экспертную систему Advice, язык ситуационного управления CML и репозитарий. Дается общее описание CML, приведены метаонтологии ситуационного управления и языка CML.

Введение. Авторы развивают высказанную ими ранее идею применения концепции ситуационного управления для энергетики и предлагают расширить область ее использования для поддержки принятия стратегических управленческих решений в критических инфраструктурах других отраслей. Предлагается семиотический подход к построению интеллектуальных систем стратегического ситуационного управления в критических инфраструктурах, основанный на базовых понятиях семиотики и семиотической модели в трактовке Д. А. Поспелова и Г. С. Осипова. Авторами выполнено отображение идей Поспелова на современные информационные технологии, в частности семантическое моделирование. Последнее рассматривается как одно из направлений семиотического моделирования, в котором преобладает графическое представление разрабатываемых моделей. Предложена архитектура ситуационного полигона, как прототипа интеллектуальной системы семиотического типа для ситуационного управления. Помимо инструментальных средств семантического моделирования, в него включены экспертная система Advice, обеспечивающая сопоставление ситуаций, требующих вмешательства, и соответствующих управляющих воздействий репозитарий. В качестве инструмента реализации правил изменения базовых множеств классической формальной модели (что и превращает ее в семиотическую) предлагается язык ситуационного управления CML. Разработка языка CML выполнена на основе онтологического инжиниринга проблемы ситуационного управления. Приводится метаонтология CML и дается краткое описание языка CML, который обеспечивает функции как создания и пополнения баз знаний, так и интеграции всех компонентов ситуационного полигона.

Понятие критических инфраструктур. Исследования критических инфраструктур являются достаточно молодым направлением, но становятся приоритетными во многих странах мира, и в первую очередь в США [1]. Актуальность этих исследований усугубляется угрозами кибернетической безопасности. К критическим инфраструктурам относят энергетику, транспорт, службы по чрезвычайным ситуациям, банковский и финансовый, телекоммуникационный сектора экономики и другие жизненно важные ресурсы. В исследованиях критических инфраструктур большое внимание уделяется выявлению ключевых объектов (или их совокупности), воздействие на которые может оказать наиболее негативный эффект на отрасль экономики, ключевой ресурс или всю инфраструктуру, а также в оценке последствий подобного воздействия и разработке механизмов снижения таких рисков.

Под энергетической инфраструктурой, которую относят к критически важным инфраструктурам, понимают совокупность энергетических объектов и систем энергетики, включая энергетические транспортные магистрали. В последнее десятилетие за рубежом активно обсуждается и развивается концепция Smart Grid, или, в переводе на русский, интеллектуальных энергетических систем — ИЭС [2]. В России также анонсирована необходимость организации работ по развитию «умных энергосистем» и ведутся соответствующие исследования. Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН (ИСЭМ СО РАН) является одним из лидеров в этой области исследований.

Наряду с применением в ИЭС уже ставших традиционными методов искусственного интеллекта (нейронные сети, генетические алгоритмы, нечеткая логика), все большее внимание энергетиков привлекают так называемые системы с целеполаганием. Это интеллектуальные системы управления, которые имеют несколько целей функционирования (или умеют генерировать эти цели), выбирая самую подходящую цель в зависимости от окружающей среды, уме-

ют прогнозировать поведение окружающей среды и свое собственное состояние. Пока такие системы отсутствуют как в энергетике, так и в других критических инфраструктурах России.

Авторы считают, что для систем с неполной информацией и высокой сложностью объекта управления, какими являются критические инфраструктуры, все более актуальным является применение методов ситуационного управления, основанных на интеллектуальных технологиях [3], и развитие семиотического подхода к построению интеллектуальных систем в рамках этого направления [4].

Семиотический подход к построению интеллектуальных систем ситуационного управления. Основы семиотического подхода к построению интеллектуальных систем для управления техническими системами в нашей стране также заложены в работах Д. А. Поспелова.

Семиотика — это наука, исследующая свойства знаков, знаковых и символьных систем, используемых в процессе коммуникации. В настоящее время она активно развивается. В 2014 г. состоялся 12-й Всемирный конгресс по семиотике (Болгария, София), в котором принимали участие более 600 человек, в том числе авторы статьи [5]. Рассматривались всевозможные приложения семиотики в самых различных предметных областях. В областях, близких к информатике, это искусственные языки, процессы обработки информации (например, языки программирования, языки для индексирования документов, записи научно-технических фактов и знаний), алгоритмы, обеспечивающие обработку текстов на естественном языке (машинный перевод, автоматическое индексирование и реферирование, перевод с естественного языка на формальный язык), составление картографических изображений, специальных схем и планов др. Ведущими учеными-семиотиками (А. Соломоник, Израиль; А. Володченко, Германия; К. Банков, Болгария и др.) отмечалось недостаточное распространение семиотики в технических областях, а точнее, практическое отсутствие таких работ.

Д. А. Поспеловым было введено определение семиотической модели [6], которое потом было детализировано Г. С. Осиповым [7]. Согласно последнему, семиотическую модель можно определить как «восьмерку»:

$$W = < T, R, A, P, \tau, \rho, \alpha, \pi >,$$

где T — множество основных символов;

R — множество синтаксических правил;

A — множество знаний о предметной области;

P — множество правил вывода решений (прагматических правил);

τ — правила изменения множества T;

ρ — правила изменения множества R;

α — правила изменения множества A;

π — правила изменения множества P.

Иначе говоря, в отличие от формальных моделей, в которых элементы, образующие множество T, обладают жестким синтаксисом, жесткой семантикой и жесткой прагматикой, в семиотической модели все эти свойства элементов множества T становятся доступными для изменения. Именно такой особенностью обладают знаки — элементы знаковых, или семиотических систем, изучаемых в семиотике. Такие системы тесно связаны со всей человеческой деятельностью, именно изменчивость и условность знаков делают эту деятельность эффективной.

Следует отметить, что семиотический подход в нашей стране развивается, в частности, в работах Г. С. Осипова, В. Н. Вагина, А. П. Еремеева (интеллектуальные системы реального времени семиотического типа), А. А. Кулинича (семиотическая модель когнитивного опыта) и др. Эти работы носят преимущественно теоретический характер. Сведений о развитии этого подхода в области энергетики и применительно к системам ситуационного управления авторам найти не удалось.

Онтологический инжиниринг проблемы ситуационного управления в энергетике. Современное состояние и тенденции развития ситуационного управления рассматривались авторами в ряде работ и, в частности, на этих конференциях [8]. Под руководством и при участии авторов был выполнен онтологический инжиниринг проблемы ситуационного управления в энергетике [9].

Онтологический инжиниринг включает в себя выявление основных классов сущностей (базовых понятий) в описании реальных взаимодействующих процессов, отношений между этими классами, а также совокупности свойств, которые определяют их изменение и поведение во взаимодействии.

Целями онтологического инжиниринга являются повышение уровня интеграции информации, необходимой для принятия управленческих решений; повышение эффективности информационного поиска; предоставление возможности совместной обработки знаний на основе единого семантического описания пространства знаний [10].

В результате онтологического инжиниринга проблемы ситуационного управления построена система онтологий, которая включает в себя метаонтологию ситуационного управления, метаонтологию пространства знаний в области ситуационного управления, онтологии ситуаций, ситуационного анализа и ситуационного моделирования. Метаонтология ситуационного управления приведена на рис. 1.

Интеллектуальные системы семиотического типа. Д. А. Поспеловым была предложена общая схема ситуационного управления на основе семиотического подхода [5]. Основными блоками схемы были определены: *Анализатор* — оценивает сообщения и определяет необходимость вмешательства системы управления в процесс, протекающий в

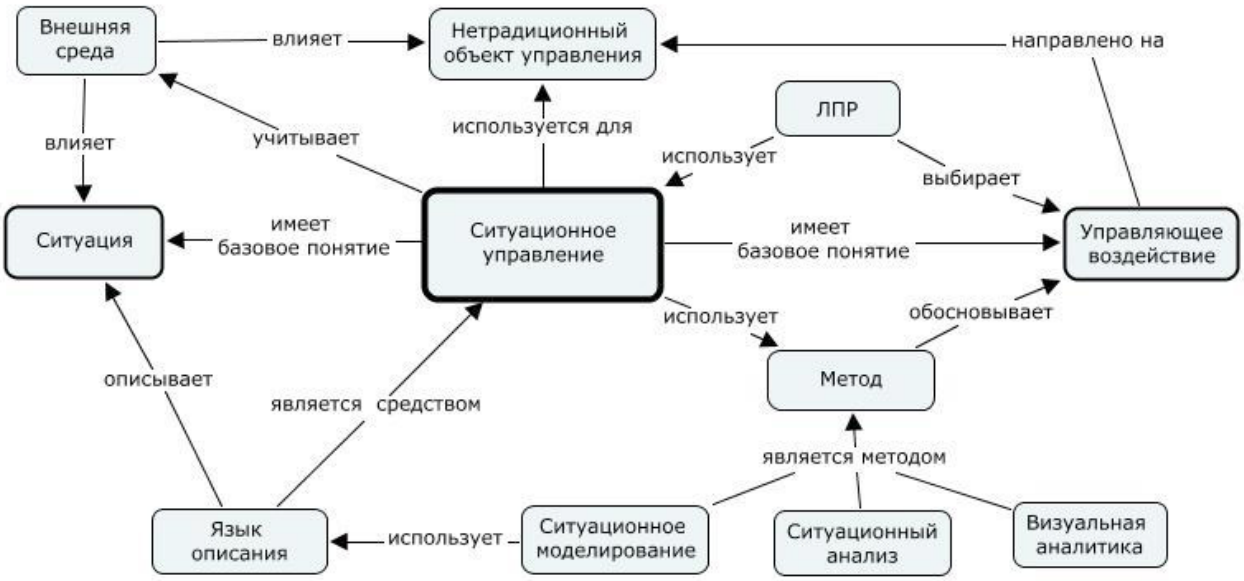


Рис. 1. Метаонтология ситуационного управления

объекте управления; *Классификатор* — используя хранящуюся в нём информацию, относит текущую ситуацию к одному или нескольким классам, которым соответствуют одношаговые решения; *Коррелятор* — определяет то логико-трансформационное правило (ЛТП), которое должно быть использовано. В случае наличия нескольких подходящих ЛТП Коррелятор прибегает к помощи Экстраполятора, который выбирает лучшее ЛТП из выбранных Коррелятором на основе прогноза возможного развития ситуаций. Если решение не может быть принято, то срабатывает *Блок случайного выбора* и выбирается одно из воздействий, оказывающих не слишком большое влияние на объект, или система отказывается от какого-либо воздействия. К сожалению, в 1980-е гг. эта схема так и не была полностью реализована.

Авторами выполнено отображение этой схемы на современные информационные технологии, а именно: сопоставление блоков общей схемы ситуационного управления семиотического типа с разработанными в авторском коллективе средствами семантического моделирования и разрабатываемой экспертной системой Advice [4]. Предлагается для выполнения функций Классификатора в системе семиотического типа использовать авторские библиотеки онтологического и когнитивного моделирования OntoMap и CogMap. Функции Экстраполятора могут выполнять инструментальные средства событийного и вероятностного моделирования: авторские библиотеки EventMap и BayNet. Для анализа ситуаций и выбора мероприятий, соответствующих конкретным ситуациям, разрабатывается экспертная система Advice. Для хранения баз знаний и семантических моделей предполагается использовать Репозитарий, первоначально разработанный в рамках ИТ-инфраструктуры исследований в энергетике и используемый в интеллектуальной ИТ-среде [11].

Результаты, полученные авторами, применяются в области, связанной с энергетической безопасностью (ЭБ), поэтому ситуационное управление в данном контексте рассматривается как управление в условиях экстремальных ситуаций в энергетике (Contingency Management) [12]. Под экстремальными ситуациями (ЭкС) понимаются как критические, так и чрезвычайные ситуации, в соответствии со шкалой «норма — предкризис — кризис». Авторы уделяют большее внимание именно критическим ситуациям.

Ситуационный полигон как прототип интеллектуальной системы ситуационного управления семиотического типа. Учитывая наличие факторов неопределенности, при ситуационном управлении зачастую не удается построить и использовать математические модели, поэтому авторы предлагают использовать методы семантического моделирования, к которым они относят онтологическое, когнитивное, событийное и вероятностное моделирование (моделирование на основе байесовских сетей доверия — БСД-моделирование) [13]. Семантические модели представляются, как правило, в графическом виде.

Семантическое моделирование рассматривается авторами как одна из разновидностей семиотического моделирования, в которой преобладает графическое представление моделей. В качестве инструмента для реализации правил изменения базовых компонентов формальной модели (что и превращает ее в семиотическую) предлагается язык ситуационного управления.

Рис. 2. Архитектура ситуационного полигона

В лаборатории информационных технологий в энергетике ИСЭМ СО РАН под руководством и при участии авторов была разработана интеллектуальная ИТ-среда, интегрирующая инструментальные средства семантического моделирования для поддержки онтологического (OntoMap), когнитивного (CogMap), событийного (EventMap) и вероятностного (BayNet) моделирования и геокомпонент для 3D-геовизуализации результатов моделирования [11]. Она рассматривается как основа для построения ситуационного полигона — прототипа интеллектуальной системы ситуационного управления семиотического типа (рис. 2).

Далее рассмотрим вопросы разработки языка описания и управления знаниями для целей ситуационного управления.

Общее описание языка ситуационного управления CML. Авторами разработана концепция такого языка, ориентированного на управление в экстремальных ситуациях в энергетике (CML — Contingency Management Language) [14]. При разработке CML авторы опирались на систему онтологий, построенную в результате онтологического инжиниринга проблемы ситуационного управления в энергетике.

Предлагается использовать язык ситуационного управления CML, в соответствии с рис. 2, для нескольких целей как:

1) язык описания знаний и манипулирования знаниями;

2) инструмент классификации ситуаций («норма», критические ситуации, чрезвычайные ситуации);

3) средство инициации ЭС для установления соответствия между ситуациями и управляющими воздействиями;

4) средство вызова соответствующих инструментальных средств семантического моделирования и модулей отображения (для перехода от одного типа моделей к другому);

5) средство обращения к геокомпоненту для 3D-геовизуализации результатов моделирования.

CML включает словари, описания знаний и операторы манипулирования знаниями. Словари включают: словарь имен (понятий), словарь отношений, словарь действий, причем в первом выделяются подразделы, в которых хранятся основные понятия (концепты) предметной области, имена объектов и/или наименования программных компонентов, вызываемых с помощью CML. Словарь имен и понятий будет проблемно-ориентированным, т. е. ориентированным на конкретную предметную область.

Иными словами, CML рассматривается как надстройка над существующей версией ситуационного полигона [15] и выполняет функции как создания и пополнения баз знаний, так и интеграции всех компонентов ситуационного полигона (рис. 2), что, по сути дела, и превращает его в интеллектуальную систему управления семиотического типа, поскольку

именно с помощью CML можно описывать правила изменения компонентов классической формальной модели (T, R, A, P: множества основных символов T; множества синтаксических правил R; множества знаний о предметной области A; множества правил вывода решений (прагматических правил) P.

На рис. 3 приведена метаонтология языка CML, включающая два базовых компонента: компонент описания знаний и компонент манипулирования знаниями. Для описания знаний используется простая ядерная конструкция (XYZ), предложенная в [5], где X, Z — понятия или имена, Y — отношение или действие.

Авторы считают, что разработка универсального языка ситуационного управления навряд ли возможна и целесообразна. Скорее всего, универсальным может быть компонент манипулирования знаниями. В компоненте описания знаний, вероятно, будут выделены базовое ядро и проблемно-ориентированные составляющие. Так, отношения принадлежности и обобщения объектов, классификации ситуаций, обобщения и сравнения явно носят проблемно-ориентированный характер, а отношения именования и оценки критических ситуаций, пространственные, временные и каузальные (причинно-следственные) могут быть универсальными.

Операторы манипулирования знаниями (далее — операторы действия) включают операторы и операнды. CALL — оператор вызова инструментальных средств, CONVERT — оператор преобразования семантических моделей (перехода от одного вида модели к другой); RECORD, FIND и READ — операторы взаимодействия с Репозитарием (см. рис. 2). Более подробное описание CML приведено в [14].

Заключение. Статья посвящена вопросам разработки интеллектуальных систем семиотического типа для ситуационного управления в критических инфраструктурах (на примере энергетики). Авторы предлагают рассматривать развиваемое ими семантическое моделирование как одно из направлений семиотического моделирования, в котором преобладает графическое представление разрабатываемых моделей. Предложена архитектура ситуационного полигона, который рассматривается как прототип интеллектуальной системы семиотического типа для ситуационного управления. Язык ситуационного управления предлагается в качестве инструмента для реализации правил изменения базовых компонентов формальной модели (что и превращает ее в семиотическую). Его разработка выполняется на основе онтологического инжиниринга. Дается краткое описание основных конструкций предлагаемого языка CML, который выполняет функции как создания и пополнения баз знаний, так и интеграции всех компонентов ситуационного полигона.

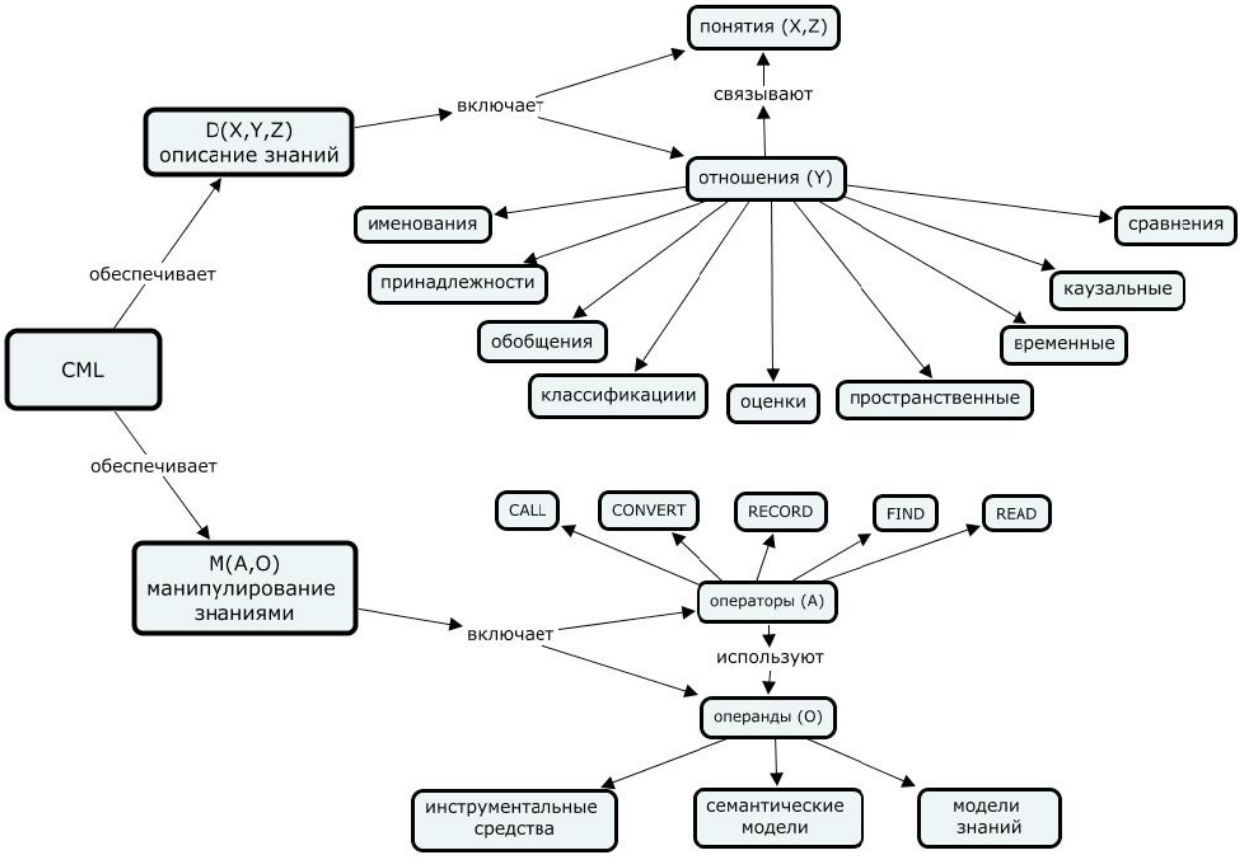


Рис. 3. Метаонтология языка ситуационного управления CML

Результаты, представленные в статье, получены при частичной финансовой поддержке гранта программы Президиума РАН №229 и грантов РФФИ №15-07-01284, №15-07-04074 Бел_мол_а, № 16-07-00474, № 16-07-00569.

Библиографический список

1. Кондратьев, А. Современные тенденции в исследовании критической инфраструктуры в зарубежных странах [Электронный ресурс] / А. Кондратьев. URL: http://pentagonus.ru/publ/sovremnnye_tendencii_v_issledovanii_kriticheskoj_infrastruktury_v_zarubezhnoj_stranakh_2012/19-1-0-2082 (дата обращения 7.09.2015).

2. Кобец, Б. Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Б. Б. Кобец, И. О. Волкова. М. : ИАЦ Энергия, 2010. 208 с.

3. Массель, Л. В. Методы и средства ситуационного управления в энергетике на основе семантического моделирования / Л. В. Массель, А. Г. Массель // Труды V Международной конференции OSTIS, Беларусь. Минск, 2015. С. 199–204.

4. Массель, Л. В. Семиотический подход к созданию интеллектуальных систем ситуационного управления в энергетике / Л. В. Массель, А. Г. Массель // Информационные технологии в науке, образовании и управлении : тр. XLIII Междунар. конф. / под ред. проф. Е. Л. Глориозова. М., 2015. С. 182–193.

5. New Semiotics: Between Tradition and Innovation : Abstracts. Bulgaria, Sofia : New Bulgarian University, Southeast European Center For Semiotic Studies, 2014. 218 p.

6. Поспелов, Д. А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д. А. Поспелов. М. : Наука, 1986. 284 с.

7. Осипов, Г. С. От ситуационного управления к прикладной семиотике / Г. С. Осипов // Новости искусств. интеллекта. 2002. № 6 (54). С. 2–12.

8. Массель, Л. В. Инструментальные средства ситуационного управления в энергетике / Л. В. Массель, А. Г. Массель // Информационные технологии и системы : тр. Четвертой Междунар. науч. конф. / отв. ред. : Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015. С. 168–172.

9. Массель, Л. В. Онтологический инжиниринг ситуационного управления в энергетике / Л. В. Массель, А. Г. Массель, Т. Н. Ворожцова, Н. Н. Макагонова // Знания, онтологии, теории : материалы Всерос. конф. с междунар. участием (ЗОНТ – 2015). Новосибирск : ИМ СО РАН, 2015. С. 36–43.

10. Черняховская, Л. Р. Ситуационный подход к управлению взаимодействием сложных процессов на основе онтологического инжиниринга / Л. Р. Черняховская, Н. И. Федорова // Информационные и математические технологии в науке и управлении : тр. XX Байкал. Всерос. конф. Ч. 3. Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2015. 261 с.

11. Массель, Л. В. Интеллектуальные вычисления в исследованиях направлений развития энергетики / Л. В. Массель, А. Г. Массель // Изв. Томс. политехн. ун-та. 2012. Т. 321, № 5. Упр., вычисл. техника и информатика. С. 135–141.

12. Массель, Л. В. Технологии и инструментальные средства интеллектуальной поддержки принятия решений в экстремальных ситуациях в энергетике / Л. В. Массель, А. Г. Массель // Вычисл. технологии. 2013. Т. 18. С. 37–44.

13. Массель, Л. В. Семантические технологии на основе интеграции онтологического, когнитивного и событийного моделирования / Л. В. Массель, А. Г. Массель // Материалы III Международной научно-технической конференции (OSTIS – 2013). Минск : БГУИР, 2013. С. 247–250.

14. Массель, Л. В. Язык описания и управления знаниями в интеллектуальной системе семиотического типа / Л. В. Массель, А. Г. Массель // Информационные и математические технологии в науке и управлении : тр. XX Байкал. Всерос. конф. Т. 3. Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2015. С. 112–124.

15. Массель, А. Г. Ситуационный полигон как инструмент ситуационного управления в энергетике / А. Г. Массель, Р. А. Иванов // Труды IV Международной конференции OSTIS. Минск, 2014. С. 277–280.

Сведения об авторах

Массель Людмила Васильевна — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения РАН, Иркутск. massel@isem.irk.ru

Массель Алексей Геннадьевич — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения РАН, Иркутск. amassel@gmail.com

L. V. Massel, A. G. Massel

DEVELOPMENT OF THE INTELLIGENT SEMIOTIC SYSTEMS FOR SITUATIONAL STRATEGIC MANAGEMENT IN CRITICAL INFRASTRUCTURES (on the Example of Energy Sector)

In the article the authors describe the proposed approach to the development of intelligent semiotic systems for strategic situational management in critical infrastructures (for example, in energy sector). It's considered a converting of the general scheme of situational management offered by D.A. Pospelov into the author's semantic modeling tools. The ontological engineering of situational management problems is performed. The architecture of the situational polygon is proposed, as the prototype of a semantic intelligent system, which includes, in addition to semantic modeling tools, expert system Advice, contingency management language CML management Repository. A general description of the CML is given and metaontologies of situational management and CML are shown.

ББК В187
УДК 519.76

О. Ю. Матковская, А. В. Мельников

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (TOPIC MODELING) В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ГЕНЕРАЦИИ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ (РПД) НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ДИСЦИПЛИНЫ (МПОД)

Статья посвящена тематическому моделированию: основным концепциям, терминологиям, вероятностному латентно-семантическому анализу (PLSI) и латентному размещению Дирихле (LDA). Кроме того, в статье приведен краткий обзор существующих ПО для автоматической разработки рабочей программы дисциплины (РПД). Также рассмотрено применение тематического моделирования в задаче автоматической генерации рабочей программы дисциплины (РПД).

1. Введение

В настоящее время практически каждый год Министерство образования и науки РФ выпускает новые образовательные стандарты. В связи с этим университеты ежегодно создают новые учебные планы и новые рабочие программы дисциплин (РПД).

Качественно разработанные и грамотно составленные РПД являются очень важной составляющей престижного учебного заведения. Когда на протяжении нескольких лет РПД по конкретной дисциплине составляет один и тот же преподаватель, то данный процесс не вызывает затруднений. Но как начинающему преподавателю грамотно и качественно разработать РПД? В этом случае Интернет выступает в качестве главного помощника: преподаватель ищет или уже готовую РПД и редактирует ее под свои особенности, если, конечно, в Интернете есть готовая РПД, или составляет свою РПД из отдельных источников информации по частям. В любом случае, полученная РПД может иметь ряд недочетов по разным причинам:

– необходимо производить сравнение структур разных РПД;

– необходимо производить анализ множества результатов по поиску критериев;

– необходимо компоновать из разных источников множество информации, если нет готовой РПД;

– необходимо искать и пересматривать огромное количество отзывов для составления качественной РПД.

На данный момент существуют различные решения данных проблем:

Конструктор «Соната-Про», который представляет собой интерактивную среду для быстрой разработки рабочих программ учебных курсов и дисциплин. Недостатком данного продукта является то, что он платный и не имеет демо-версии.

«Киберос» — кибернетическая образовательная система, которая предназначена для организации и управления учебным процессом в вузе или среднем учебном заведении на основе подхода «двойная спираль». Этот подход предполагает дополнить каждый элемент традиционного аудиторного учебного процесса электронным информационным наполнением. Автор и разработчик «Киберос» — Эдуард Дмитриевич Пак, преподаватель Красноярского государственного педагогического университета. Данная система разработана для преподавателей данного вуза и на данный момент не предоставляет возможности покупки доступа в систему или регистрации в системе.

В 2012 г. И. Ю. Королева в журнале «Молодой ученый» опубликовала статью «Автоматизация процесса разработки УМКД кафедры вуза», в которой она предлагает разработать модуль автоматизации УМКД кафедры вуза, но при этом на тот момент она еще не выбрала средство разработки [1].

Существует достаточно большое количество как зарубежных, так и отечественных программ электронного документооборота. Все зарубежные программы дорогостоящи, имеют избыточные функциональные возможности, сложны в обслуживании и их невозможно настроить на работу кафедры российского вуза и тем более для конкретной задачи по разработке РПД. Также существует несколько систем для автоматизированной разработки РПД, но все они не подходят для разработки любых РПД, поскольку у каждого вуза своя утвержденная структура РПД.

Целью диссертационного исследования является разработка системы автоматической генерации РПД на основе модели предметной области дисциплины (МПОД). Для реализации поставленной цели необходимо в первую очередь создать МПОД с использованием методов анализа текста (статистические методы и тематическое моделирование).

2. Тематическое моделирование

В настоящее время графические модели являются основным инструментом для построения вероятностных тематических моделей (probabilistic topic model).

Тематическое моделирование (topic modeling) — одно из современных приложений машинного обу-

чения к анализу текстов, активно развивающееся с конца 1990-х гг. Тематическая модель (topic model) коллекции текстовых документов определяет, к каким темам относится каждый документ и какие слова (термины) образуют каждую тему [2].

Вероятностная тематическая модель (ВТМ) описывает каждую тему дискретным распределением на множестве терминов, каждый документ — дискретным распределением на множестве тем. Предполагается, что коллекция документов — это последовательность терминов, выбранных случайно и независимо из смеси таких распределений, и ставится задача восстановления компонентов смеси по выборке. Поскольку документ или термин могут относиться одновременно ко многим темам с различными вероятностями, говорят, что ВТМ осуществляет «мягкую» кластеризацию документов и терминов по кластерам-темам. Тем самым решаются проблемы синонимии и омонимии терминов, возникающие при обычной «жёсткой» кластеризации. Синонимы, часто употребляющиеся в схожих контекстах, с большой вероятностью попадают в одну тему. Омонимы, употребляющиеся в разных контекстах, распределяются между несколькими темами соответственно частоте употребления.

Тематические модели применяются для выявления трендов в научных публикациях или новостных потоках [3; 4], для классификации и категоризации документов [5], изображений и видеопотоков [6–8], для информационного поиска [9], в том числе многоязычного [10], для тегирования веб-страниц [11], для обнаружения текстового спама [12], для рекомендательных систем [13] и других приложений.

Графические модели могут быть разделены на две основные категории: ориентированные и неориентированные графические модели, каждая из которых может быть параметрической и непараметрической (рис. 1).

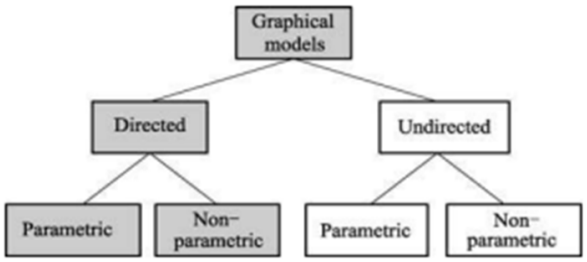


Рис. 1. Классификация графических моделей

Если ориентированная тематическая модель является вероятностной (DPTM — directed probabilistic topic model), то оценка соответствия документа теме считается как доля содержимого документа, которая относится к данной конкретной теме, то есть имеет вероятностный смысл. Данная модель не является достаточно исследованной в теории самообучения (обучения без учителя, unsupervised learning). Самый первый предложенный метод — это вероятностный латентный семантический анализ (PLSA — probabilistic latent semantic analysis), который основан на принципе максимума правдоподобия. Следующий метод, который был предложен,— это метод латентного размещения Дирихле (LDA — latent Dirichlet allocation). Предполагается, что использование тематического моделирования дает возможность получить ответ на большое количество нестандартных вопросов, например таких: Каким образом узнать смысл или тему документа по их содержанию? Каким образом производить классификацию документов на основе тематических закономерностей? Каким образом узнавать научные интересы авторов и находить экспертов в специальных областях знания? Каким образом выявлять скрытые ассоциативные связи между отдельными исследователями или группами людей? И многие другие. Известны вводные обзоры [14; 15] по вероятностным тематическим моделям и методам оценивания их параметров.

3. Концепции и терминология

3.1. Документ

Обычно документ включает в себя множество слов, терминов (словосочетаний), специальных символов, таблиц, графиков и т. д. В литературе по тематическому моделированию в качестве стандартных видов документов выступают научные статьи и новостные сообщения.

Обычно документ представляется d вектором (конкатенацией) слов $w_d = \{w_{d1} + \ldots + w_{dn}\}$, где w_{di} — *i-е* слово в документе d, а коллекция из D документов представляется совокупностью векторов слов $D = \{w_1, \ldots, w_D\}$, где w_d — вектор слов документа d.

3.2. Тема

В исследованиях по тематическому моделированию нет четко сформулированного определения темы (topic). Различные научные школы по-разному определяют понятие темы: «скрытый паттерн», «компактное описание смысла документов», «вероятностный (нечёткий) кластер семантически связанных терминов», «связующее звено между терминами и другими объектами (документами, авторами, организациями, конференциями и т. д.), которое позволяет находить скрытые ассоциативные связи между ними». Формально тема определяется как дискретное (мультиномиальное) вероятностное распределение в пространстве слов заданного словаря. Документ может состоять из огромного числа слов, однако эти слова могут порождаться небольшим числом тем, как смесью мультиномиальных распределений [16].

3.3. Вероятностный латентный семантический анализ (PLSA)

PLSA [17] — это первая вероятностная тематическая модель с латентными переменными, имеющая строгие статистические обоснования. В [18] она так-

же называется моделью аспектов (aspect model). Эта модель основана на предположении о том, что совместное появление пар (документ, слово) обусловлено латентными переменными $z \in T = \{z_1, \ldots, z_t\}$. Совместное распределение на парах $d \times w$ определяется как смесь распределений:

$$p(d, w) = p(d)\, p(w|\, d),$$

$$\text{где } p(w|\, d) = \sum_{z \in T} p(w|z)\, p(z\,|d). \qquad (1)$$

Предполагается, что каждая пара (d, w) появляется независимо, в соответствии с предположением о том, что документ — это «мешок слов». Слова w появляются в документе в зависимости от тем z, но независимо друг от друга. Можно сделать вывод о том, что модель PLSA описывает порождение слов в документе, но не описывает порождение самих документов. Вероятностная модель PLSA представлена на рис. 2.

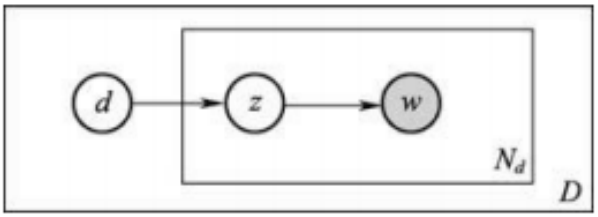


Рис. 2. Вероятностная модель PLSA

3.4. Латентное размещение Дирихле (LDA)

В отличие от PLSA модель LDA описывает и порождение слов в документе, и порождение самих документов. Это возможно благодаря тому, что в модели LDA документы выступают в качестве смеси распределений латентных тем, где каждая тема определяется вероятностным распределением на множестве слов. Модель LDA выявляет скрытые связи между словами при помощи тем. Кроме того, она позволяет присваивать вероятности новым документам, не входившим в обучающую выборку. Для этого модель LDA использует алгоритм вариационного вывода. На рис. 3 графически представлена данная модель.

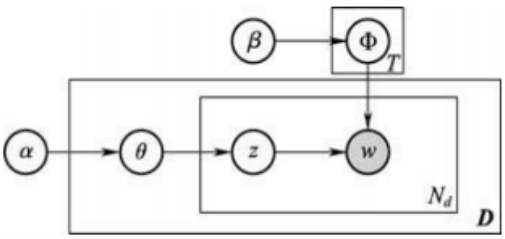


Рис. 3. Вероятностная модель LDA

Фактически LDA является трехуровневой байесовской сетью, которая порождает документ из смеси тем. На первом шаге для каждого документа d выбирается случайный вектор θ_d из распределения Дирихле с параметром α (обычно α принимается равным 50/T). На втором шаге выбирается тема z_{di} из мультиномиального распределения с параметром θ_d. Наконец, согласно выбранной теме z_{di} выбирается слово w_{di} из распределения Φz_{di}, которое является распределением Дирихле с параметром β (обычно параметр β = 0,1, увеличение β ведёт к более разреженным тематикам) [19]. Таким образом, порождающая модель слова w из документа d представляется в виде

$$p(w|d, \theta, \Phi) =$$

$$= \sum_{z=1}^{T} p\left(w|z, \Phi_z\right) p\left(z|d, \theta_d\right). \qquad (2)$$

Для оценки параметров LDA используются простой вариационный EM-алгоритм и семплирование Гиббса [19; 20].

4. Применение тематического моделирования в задаче автоматической генерации рабочей программы дисциплины (РПД)

Изучив теоретические аспекты тематического моделирования, можно поставленную цель в диссертационном исследовании реализовать, разбив ее решение на два этапа.

На первом этапе реализации системы необходимо на основе имеющейся документации (книги по конкретной области наук, разработанные РПД конкретной дисциплины) сформировать множество всех разделов (топиков, тем), которые только могут быть в данной конкретной дисциплине (рис. 4).

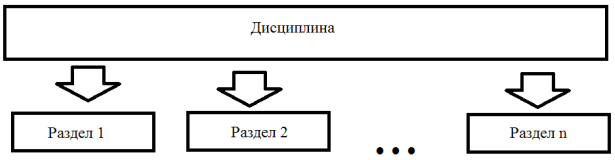


Рис. 4. Множество всех разделов

На втором этапе реализации системы необходимо по полученным требованиям к РПД (например, список компетенций) с применением тематического моделирования выбрать только те темы дисциплины, которые удовлетворяют данным требованиям. Общая схема работы системы представлена на рис. 5.

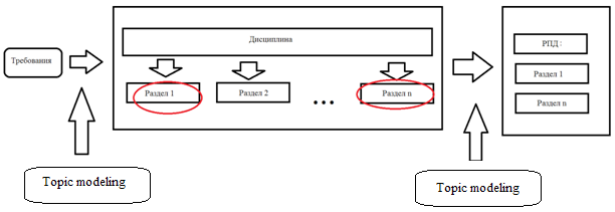


Рис. 5. Общая схема

Заключение

В данной работе было исследовано тематическое моделирование и предложена общая схема работы

системы построения модели предметной области дисциплины. В дальнейшем планируется проведение эксперимента решения проблемы.

Библиографический список

1. Чичиль, В. О. Разработка автоматизированной системы для организации документооборота невыпускающей кафедры вуза / В. О. Чичиль, И. Ю. Королева // Молодой ученый. 2015. № 23. С. 74–78.
2. Воронцов, К. В. Вероятностное тематическое моделирование [Электронный ресурс] : конспект лекций / К. В. Воронцов. URL: http://www.machinelearning.ru/wiki/images/2/22/Voron-2013-ptm.pdf
3. Zhang, J. Evolutionary hierarchical Dirichlet processes for multiple correlated time-varying corpora / J. Zhang, Y. Song, C. Zhang, S. Liu // Proceedings of the 16th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. 2010. P. 1079–1088.
4. Cui, W. TextFlow: Towards better understanding of evolving topics in text / W. Cui, S. Liu, L. Tan, C. Shi, Y. Song, Z. Gao, H. Qu, X. Tong // IEEE transactions on visualization and computer graphics. 2011. Vol. 17, № 12. P. 2412–2421.
5. Rubin, T. N. Statistical topic models for multilabel document classification / T. N. Rubin, A. Chambers, P. Smyth, M. Steyvers // Machine Learning. 2012. Vol. 88, № 1–2. P. 157–208.
6. Li, X.-X. Simultaneous image classification and annotation based on probabilistic model / X.-X. Li, C.-B. Sun, P. Lu, X.-J. Wang, Y.-X. Zhong // The J. of China Universities of Posts and Telecommunications. 2012. Vol. 19, № 2. P. 107–115.
7. Feng, Y. Topic models for image annotation and text illustration / Y. Feng, M. Lapata // Human Language Technologies: The 2010 Annual Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics. Association for Computational Linguistics, 2010. P. 831–839.
8. Varadarajan, J. A sparsity constraint for topic models — application to temporal activity mining / J. Varadarajan, R. Emonet, J.-M. Odobez // NIPS-2010 Workshop on Practical Applications of Sparse Modeling: Open Issues and New Directions. 2010.
9. Yi, X. A comparative study of utilizing topic models for information retrieval / X. Yi, J. Allan // Advances in Information Retrieval. Springer Berlin Heidelberg, 2009. Vol. 5478 of Lecture Notes in Computer Science. P. 29–41.
10. Vuli´c, I. Cross-language information retrieval models based on latent topic models trained with document-aligned comparable corpora / I. Vuli´c, W. Smet, M.-F. Moens // Information Retrieval. 2012. P. 1–38.
11. Krestel, R. Latent dirichlet allocation for tag recommendation / R. Krestel, P. Fankhauser, W. Nejdl // Proceedings of the third ACM conference on Recommender systems. ACM, 2009. P. 61–68.
12. Павлов, А. С. Метод обнаружения массово порожденных неестественных текстов на основе анализа тематической структуры / А. С. Павлов, Б. В. Добров // Вычисл. методы и программирование: новые вычисл. технологии. 2011. Т. 12. С. 58–72.
13. Yeh, J.-H. Recommendation based on latent topics and social network analysis / J.-H. Yeh, M.-L. Wu // Proceedings of the 2010 Second International Conference on Computer Engineering and Applications. Vol. 1. IEEE Computer Society, 2010. P. 209– 213.
14. Steyvers, M. Probabilistic topic models / M. Steyvers, T. Griffiths // Latent Semantic Analysis: A Road to Meaning / eds. T. Landauer [et al.]. Laurence Erlbaum, 2007.
15. Heinrich, G. Parameter Estimation for Text Analysis : Technical report / G. Heinrich. Ver. 2. February, 2008.
16. Blei, D. M. Supervised topic models / D. M. Blei, J. McAuliffe // Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS). 21. Cambridge, MA, MIT Press, 2007. P. 121–128.
17. Hofmann, T. Probabilistic latent semantic analysis / T. Hofmann // Proceedings of the 15th Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI). Stockholm, 1999.
18. Hofmann, T. Learning from dyadic data / T. Hofmann, J. Puzicha, M. I. Jordan // Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS) 11. Cambridge, MA, MIT Press, 1999.
19. Griffiths, T. L. Finding scientific topics / T. L. Griffiths, M. Steyvers // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2004. № 101. P. 5228–5235.
20. Blei, D. M. Latent Dirichlet allocation / D. M. Blei, A. Y. Ng, M. I. Jordan // J. of Machine Learning Research. 2003. № 3. P. 993–1022.

Сведения об авторах

Матковская Оксана Юрьевна — аспирант, преподаватель кафедры информационных технологий и экономической информатики Челябинского государственного университета. oxsa91@gmail.com, mou@csu.ru

Мельников Андрей Витальевич — доктор технических наук, профессор, директор Института информационных технологий Челябинского государственного университета. mav@csu.ru

O. Yu. Matkovskaia, A. V. Melnikov

APPLICATION OF TOPIC MODELINY IN THE PROBLEM OF AUTOMATIC GENERATION OF THE DISCIPLINE CONTENT BASED ON A CONCEPTUAL MODEL OF DISCIPLINE

The article is devoted to the topic model: basic concepts, terminology, Probabilistic latent semantic indexing (PLSI) and Latent Dirichlet allocation (LDA). In addition, the article provides an overview of existing software for automatic design course programme. And also considered the use of thematic modeling in the problem of automatic generation of the course programme.

ББК Ч448.02
УДК 371.3

И. Л. Надточий

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ВЕБ-СРЕДА ИТ-ДИСЦИПЛИНЫ

Рассматриваются проблемы генерации учебной среды дисциплины по информационным технологиям для любых форм обучения с использованием интеллектуальных технологий и достижений в области ИТ-технологий.

В современных условиях эффективность образовательного процесса в значительной степени определяется тем, каким образом предоставляется обучаемая информация и как воспринимается эта информация обучаемыми, как отрабатывается увеличение скорости изменения обучаемой информации, как эта информация «приближается» к обучаемому.

В настоящее время много внимания уделяется созданию учебно-методических комплексов дисциплин. В данной статье предлагается методика создания интеллектуальной среды ИТ-дисциплины.

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 образовательных сайтах, которые в настоящее время принято относить к классу интеллектуального Web Mining. Это находит применение при организации дистанционного образования как основных, так и дополнительных форм обучения. Инструменты Web Mining позволяют проводить автоматизированный анализ образовательной информации, такой как контрольные работы, результаты тестирования, эссе, рефераты, фрагменты курсовых и выпускных квалификационных работ, преподавателями любых дисциплин.

Инструментарий служит для создания так называемого веб-виртуального поля дисциплины или курса, содержащего дидактический материал, список библиографических источников, электронные издания, интересные ссылки по различным проблемам изучаемого материала.

Преподаватель должен обработать их с точки зрения автоматической классификации, составления оглавлений, выявления ключевых слов и общих тем, формирования итоговой ведомости. Выявленные знания могут при этом представляться в виде деревьев, описывающих структуры документов или в виде логических или семантических выражений. Решение части этих проблем предлагает ***Text Mining*** — технология автоматического извлечения знаний в больших объемах текстового материала, основанная на сочетании лингвистических, семантических, статистических и машинных обучающихся методик.

Для обучаемых персонализация веб-виртуального поля пространства в идеале связана с созданием обучаемого компонента, адаптирующего такие возможности, как навигация, контент, цитаты, интересные ссылки, реакция на высказывания в блогах, наконец, просто оценка выполненной работы. При этом такой компонент настраивается под обучаемого на основании собранной и проанализированной информации о его предпочтениях. При этом учитываются стойкие шаблоны поведения студента в виртуальном поле дисциплины.

В данном случае цель создания шаблона — возможное прогнозирование его последующих действий, в том числе переходы по ссылкам, отправка форм, прокрутка страниц, добавление в избранные страницы и т. д. Найденные шаблоны используются в дальнейшем для оптимизации структуры веб-виртуального поля дисциплины. Целью поиска шаблонов в поведении обучаемых (а в дальнейшем и самих преподавателей) является не адаптация ресурса к предпочтениям индивидуальных пользователей, а поиск закономерностей в шаблонах взаимодействия пользователя с веб-ресурсом с целью прогнозирования его последующих действий. Понятно, как это может быть важно для преподавателя ИТ-дисциплин.

В ходе формирования шаблона могут решаться такие задачи:

– формирование гипотезы;
– фильтрация;
– выбор модели;
– выбор параметров модели и алгоритма обучения;
– обучение модели;
– оценка качества обучения;
– анализ выявленных закономерностей.

Необходимость автоматического анализа информации из Интернета вызвана высокой доступностью огромного количества постоянно пополняющейся информации, а также растущей популярностью веб-услуг среди всех категорий пользователей. Развитие интернет-услуг в глобальную информационную инфраструктуру позволяет пользователям быть не только потребителями информации, но ее создателями и распространителями.

Инструментальной поддержкой описанных методик является интеллектуальная инструментальная образовательная среда, представляющая собой программный комплекс, в состав которого входят модули или компоненты, разрабатываемые в рамках как традиционных, так и нетрадиционных технологий программирования и обладающие определенными

интеллектуальными возможностями, а также средствами создания и развития веб-приложений.

Использование веб-технологий и методик ИИ-программирования (программирование с применением методик искусственного интеллекта) позволяет говорить об интеллектуальном веб-приложении [1].

В данном случае реализованы следующие методико-технологические подходы.

1. Моделирование деятельности обучаемых в ходе образовательного и/или дистанционного процесса.

2. Формирование базы знаний для организации и управления образовательным процессом и создание соответствующих средств управления базами знаний.

3. Реализация веб-виртуальных полей дисциплин в виде платформенно-независимых веб-приложений.

4. Возможность организации удаленного лабораторного практикума на базе виртуального лабораторного оборудования в рамках виртуальных лабораторий.

5. Формирование базы знаний для организации и управления образовательным процессом и создание соответствующих средств управления базами знаний.

6. Реализация веб-виртуальных полей дисциплин в виде платформенно-независимых веб-приложений.

7. Возможность организации удаленного лабораторного практикума на базе виртуального лабораторного оборудования в рамках виртуальных лабораторий.

На рис. 1 показана структура лингвистического аспекта интеллектуальной среды дисциплины.

Современный системный подход к проектированию системы предполагает разработку моделей представления и хранения знаний, синтаксиса языков запросов и описания знаний. Требуется программная реализация соответствующих компиляторов, проработка интерфейсных элементов системы и т. п. В системе должна быть организована значительная по объему подготовительная работа, выявляющая и систематизирующая языковые конструкции нормативных актов, содержащихся в текстах документов. Это обеспечит высокую степень автоматизации отображения синтаксических структур в семантические конструкции.

Рис. 1. Лингвистическое обеспечение интеллектуальной веб-среды

Типовые конструкции (шаблоны) существенно упрощают этап синтаксического анализа и обеспечивают автоматическое преобразование выражений, записанных на естественном языке, в выражения на языке описания, позволяющем отображать семантику документов. В случае когда программа не в состоянии адекватно обработать фрагмент текста, пользователь может ответить на ряд уточняющих вопросов и ввести информацию, дополняющую неясное место.

Квалифицированный пользователь, владеющий входным языком инструментальной системы, может самостоятельно описывать знания непосредственно на нем, используя собственные представления о предметной области. И в этом случае можно обнаружить противоречия в его формулировках.

Логический анализатор текста (ЛАТ) состоит из словаря с ограниченным запасом слов русского языка, морфологического и синтаксического анализаторов (рис. 2).

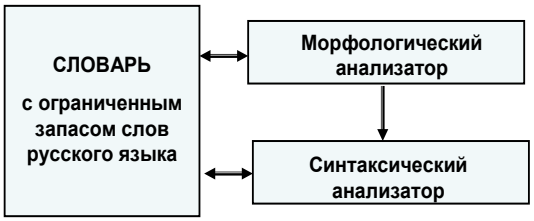


Рис. 2. Логический анализатор текста (ЛАТ)

Функция ЛАТ заключается в преобразовании написанного на русском языке предложения текста, содержащего термины предметной области, в граф, отражающий синтаксические связи между его членами. В дальнейшем он преобразуется в эквивалентное выражение на языке описания знаний.

Словарь русского языка с ограниченным запасом слов можно пополнять. Его создала группа экспертов, которая включила в него слова, употребляемые в документах предметной области. Качество преобразований предложений на естественном языке в семантические конструкции прямо зависит от его полноты.

Для каждого слова в зависимости от языковой категории указываются его морфологические характеристики, например, для существительного, род число, склонение, одушевленность (неодушевленность). Выделяются также одно или несколько метапонятий, которые могут определяться словом в зависимости от контекста. Анализ текста точно так же, как на естественном языке, разделяется на морфологический, синтаксический анализ и семантическую обработку.

Морфологический и синтаксический анализ слов и предложений может опираться на статический

или процедурные подходы (лучше их сочетание — из практики) — они выполняются наиболее легко. Ключевым в системе для понимания текста является переход от синтаксического высказывания к его семантической интерпретации. Считается, что современные системы справляются с семантическим анализом лишь в определенной степени и, как правило, в рамках узкой предметной области, ограниченной словарем и набором правил (причем в других предметных областях правила не срабатывают). Необходимо иметь механизм преобразования структуры предложения, синтаксического графа в некоторое смысловое представление.

В результате синтаксического разбора создается дерево предложения, в вершинах которого располагаются термины.

Синтаксический анализатор строит синтаксический граф предложения и имеет ряд особенностей функционирования:

– при выполнении анализа учитываются синтаксические характеристики русского текста, например для определения идиом;

– выявляются именные группы, определяющие понятия;

– отмечаются предикативные слова и группы;

– производится идентификация синтаксических конструкций, которые могут быть автоматически транслированы в текст на входном языке с учетом созданных экспертами шаблонов.

Семантический анализ выполняется как преобразование графа предложения, который строится СА, в выражения на данном языке. Семантический анализатор включает собственно анализатор и библиотеку шаблонов синтаксических конструкций русского языка, для которых на формальном языке уже существует представление знаний.

Методическое наполнение интеллектуальной инструментальной образовательной среды:

– лекционный материал (видеолекции или электронные учебные пособия);

– виртуальные лабораторные стенды, в том числе созданные сторонними учебными заведениями;

– генераторы учебных отчетов;

– база знаний, содержащая фиксированную часть (ЗУНы дисциплины/курса) и переменную часть (история обучения группы, обучаемого, действия преподавателя, сгенерированные решения и т. п.);

– консалтинговый модуль, построенный по технологии экспертной системы и позволяющий проводить консультации по запросам, представлять справочный материал, необходимый при обучении, формировать и поддерживать соответствующую базу знаний;

– инструментальная среда, позволяющая поддерживать и развивать саму интеллектуальную инструментальную образовательную среду [2].

Инструментальная среда помимо лингвистического блока может работать в нескольких режимах по организации учебного процесса: коллоквиума, тренажера и экзаменатора.

Режим коллоквиума — традиционный, реализован для совместимости системы с предыдущими методиками преподавания. При работе в этом режиме система не обладает какой-либо информацией о задаче, сформулированной преподавателем. Естественно, что весь контроль и ответственность за правильность ответов на вопросы, заложенные в среду, обеспечивает преподаватель. Среда не имеет возможности в этом режиме контролировать корректность ответов и вмешиваться в процесс. Применение режима коллоквиума предлагается на начальных этапах тематического обучения, для отработки элементов и основных понятий тематики.

После успешной сдачи коллоквиума ИнС предоставляет пользователю возможность расширенного выбора фрагментов более высокого уровня, например, просмотр алгоритмов, схем, описаний методов или примеры решения проблемы, предлагаемой на коллоквиуме, а также начала работы со следующей проблемой. Режим коллоквиума предназначен для выработки у студента навыков осмысленной работы с интеллектуальной частью среды дисциплины.

По окончании коллоквиума среда может (по требованию преподавателя) сравнить результат с эталонным и при существенном несовпадении предложить студенту повторить коллоквиум. При этом система протоколирует ход выполнения задания, что дает преподавателю возможность оценить, насколько осмысленно работал студент с обучающими средствами.

В режиме тренажера интеллектуальная среда сама предлагает студенту задачи из имеющегося в базе знаний списка, тип каждой из которых известен. Режим тренажера позволяет в полной мере реализовать задачи моделирования различных изучаемых процессов. Эффективность компьютерного эксперимента связана в данном случае с возможностью быстрого проведения комплекса исследований при различных условиях (значениях параметров) и его визуальной наглядностью.

Работа с моделью реализует следующие этапы:

– организацию исходных данных, которыми являются начальные условия состояния и параметры исследуемого объекта;

– расчет, построение графиков и печать результатов;

– выполнение отчета.

Основу ОПС составляет совокупность моделей, начиная от простой презентационной модели (интернет-технологии используются как глобальная информационная магистраль) и до реализации экспертной модели обучаемого.

Генерируемая интеллектуальная среда дисциплины является быстрым и надежным средством коммуникации для преподавателей кафедры, в этом случае

данный фрагмент строится по закрытой модели [3]. Здесь интернет-технологии используются для решения корпоративных с точки зрения учебного заведения задач.

Для решения определенных задач используется комплексная модель, когда компонент среды «образовательный пул дисциплины» является и информатором для студентов или потенциальных студентов и коммуникатором для сотрудников образовательно учреждения. В этом случае предусматривается реализация технологии разграничения доступа к ресурсам среды. Иными словами, среда может являться базовым элементом корпоративной информационной системы факультета или учебного заведения в целом.

На соответствующем корпоративном сайте кафедры могут быть представлены:

– методические материалы, презентации лекций, техническая документация, руководства по эксплуатации, справочники по технической и эксплуатационной поддержке, рекомендации и др.— для студентов и преподавателей;

– дидактический материал для выполнения различных видов заданий для дистанционного или самостоятельного обучения;

– тестирующие компоненты.

Для доступа к представленной информации в ОПС осуществляется разграничение доступа посредством создания нескольких «уровней компетентности», которые также могут состоять из нескольких «подуровней».

Нетрадиционно в среде решается проблема организации баз знаний (БЗ). В системе можно выделить как минимум три разнородные базы:

– учебная БЗ для данной предметной области (для общеобразовательных и специальных предметов), которая описывает как основные понятия и методы решения задач в предметной области, так и содержит определения понятий, описание методов, примеры, упражнения и задачи, отражая структуру предметной области, основные стратегические знания;

– модель ученика как специфическая база знаний;

– БЗ о возможных ошибках обучаемого;

– БЗ о процессе обучения, отражающая специфику постановки учебного процесса в учебном заведении.

Формально модель ученика может быть представлена пятеркой объектов вида

$$< PR, CZ, T, H, K >,$$

где R — процедурные знания обучаемого;

CZ — концептуальные знания;

T — личностные характеристики обучаемого;

H — история обучения;

K — коэффициент связи с системой, определяющий качество процесса функционирования в интеллектуальной веб-среде.

В инструментальной среде реализованы различные методы обновления модели. Основной функцией модуля поддержки модели является определение текущего состояния знаний обучаемого на основе его наблюдаемого поведения.

Интернет-технологии кардинально упрощают документооборот, который становится в данном случае более объемным. А среде возможно использование баз данных любой степени сложности, что позволяет реализовать функции управления учебным процессом (списки, ведомости, рейтинги и т. п.).

Основными посылками при разработке методологии создания интеллектуального инструментального обеспечения среды являются традиционные для систем искусственного интеллекта начальный опыт и обратная связь, которые в своей совокупности привносят в процесс обучения обращение к тому, что уже известно ранее. При этом любое индивидуальное знание может варьироваться в зависимости от таких факторов, как способности обучаемого, личный опыт, обучаемость и т. д.

Аналогичные процессы должны происходить в «хорошей», глубоко продуманной интеллектуальной среды.

Интеллектуальные компоненты построены по типу прототипных экспертных систем. Общая идея тут состоит в том, чтобы создать некоторую систему-прототип, затратив на ее создание достаточно много усилий. Но затем использовать ее как каркас для решения задач в конкретной предметной области (дисциплине). Если в системе-прототипе заранее зафиксированы все средства заполнения базы знаний и манипулирования знаниями в ней, но сама база знаний не заполнена, то такая инструментальная система называется «пустой». Чтобы «настроить» ее на некоторую предметную область, преподаватель (или студент) должен, используя готовую форму представления знаний, ввести в базу знаний всю необходимую информацию о предметной области. После этого компонент-прототип превращается в интеллектуальный компонент.

Прототипная система является усеченной версией экспертной системы, спроектированной для проверки правильности фактов, связей и стратегий рассуждения обучаемого как эксперта. Такой компонент дает возможность преподавателю как «специалисту» по знаниям привлечь студента именно как эксперта к активному участию в разработке интеллектуального компонента и, следовательно, к активизации его усилий для решения проблемы (задания) в полном объеме. Такие же прототипы могут реализовать модель обучаемого и выполнять другие функции, требующие «интеллектуальных» методов разрешения.

Жизненный цикл такого компонента показан на рис. 3.

Объем прототипа — это несколько десятков правил, фреймов или примеров. Здесь наиболее интересным является процесс разработки прототипа, включающий в себя идентификацию, представляю-

Рис. 3. Жизненный цикл компонента интеллектуальной среды

щую собой создание неформальной формулировки проблемы (задания), извлечение знаний, в рамках которого происходит перенос компетентности преподавателя как эксперта на студентов с использованием различных методов. Извлечение знаний предполагает анализ текстов; диалоги; лекции; дискуссии (форумы), то есть глубокое знакомство и обучение пары «преподаватель — студент или бригада студентов». В результате у студентов формируется полное представление о предметной области.

Структурирование или концептуализация знаний призваны выявить структуру полученных знаний о предметной области, т. е. определяются терминология, список основных понятий и их атрибутов, отношения между понятиями, структура входной и выходной информации, стратегия принятия решений, ограничения стратегий и т. д. Концептуализация знаний — это разработка неформального описания знаний о предметной области в виде графа, таблицы, диаграммы или текста, которое отражает основные концепции и взаимосвязи между понятиями предметной области.

Фаза формализации позволяет построить представление концепций предметной области, например, на основе выбранного языка представления знаний. Традиционно на этом этапе используются: логические методы (исчисления предикатов 1-го порядка и др.); продукционные модели (с прямым и обратным выводом); семантические сети; фреймы; объектно-ориентированные языки, основанные на иерархии классов, объектов и др. В результате создается база (или базы) знаний на языке, который, с одной стороны, соответствует структуре поля знаний, а с другой — позволяет реализовать прототип системы на следующей стадии программной реализации.

Создается прототип интеллектуального компонента, системы, включающий базу знаний и остальные традиционные блоки.

Под реализацией понимается разработка программного комплекса, проверка жизнеспособности подхода в целом. Чаще всего первый прототип отбрасывается на этапе реализации действующего компонента.

На этапе тестирования оценивается и проверяется работа прототипа интеллектуального компонента с целью приведения в соответствие с реальными запросами пользователей. Прототип проверяется на удобство и адекватность интерфейсов ввода-вывода (характер вопросов в диалоге, связность выводимого текста результата и др.), на эффективность стратегии управления (порядок перебора, возможно использование нечеткого вывода и др.), качество проверочных примеров, корректность базы знаний (полнота и непротиворечивость правил).

Предлагаемую методологию организации учебного процесса с применением информационных технологий можно описать следующим образом: имеется некоторая цель обучения, выраженная в терминах текущих характеристик обучаемого.

Пока цель не достигнута, появляются действия в такой последовательности:

– на основании текущего состояния обучаемого и методики обучения генерируется или ставится традиционным образом очередная задача;

– ответ обучаемого сравнивается с эталонным решением и на основании различий производится диагностика ошибок обучаемого;

– по результатам диагностики должны в идеале корректироваться текущие характеристики обучаемого.

Интеллектуальную веб-среду можно представить совокупностью трех взаимодействующих систем: средства по решению задач в изучаемой предметной области; средства по диагностике ошибок обучаемого; средства по планированию процесса управления обучением.

Основные проблемы, которые решены при создании программного и методического обеспечения интеллектуальной веб-среды:

1. Представление знаний о предметных областях. Эта проблема формализации и представления зна-

ний по отдельной дисциплине учебного плана специальности.

2. Разработка моделей статистической обработки данных об автоматизированном учебном процессе.

3. Создание средств образного анализа обработки экспертных знаний с целью «сжатия» статистической информации и формирования выводов, обеспечивающих оперативное принятие управляющих решений в среде.

4. Разработка программных средств представления информационных порций, подлежащих изучению, в наглядной форме, релевантные образному восприятию, свойственному человеку (различного рода мультимедийные средства).

5. Разработка средств автоматизации труда преподавателей с машинными информационными массивами данных и знаний по заданной предметной области.

6. Интеллектуализация обмена информации между обучаемым и преподавателем с компьютером на основе лингвистических средств общения в рамках интерфейса пользователя, на языках программирования.

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. Методология формирования интеллектуальной инструментальной среды дисциплины или курса повышения квалификации / И. Л. Надточий // Государство, политика, социум: вызовы и стратегические приоритеты развития : сб. ст. Междунар. конф. Екатеринбург, 25–26 нояб. 2010 г. Ч. 2 / сост. И. Д. Тургель. Екатеринбург, 2010. С. 67–69.

3. Надточий, И. Л. Интеллектуальная инструментальная среда дисциплины или курса при организации дистанционного обучения / И. Л. Надточий // Информационные технологии и системы : тр. Третьей Междунар. науч. конф. / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2014. С. 156–158.

Сведения об авторе

Надточий Ирина Львовна — кандидат технических наук, доцент кафедры ЭВМ Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета). Il-n@yndex.ru; irinalvovnanadt@gmail.com

---

I. L. Nadtochiy

INTELLIGENT WEB-BASED ENVIRONMENT IN-DISCIPLINE

Discusses the problem of generating learning environment discipline in information technologies for all forms of learning using intelligent technologies and achievements in the field of IT-technologies.

ББК В187
УДК 519.76

А. А. Орлова

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ТЕКСТОВ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ «КРЫЛО САМОЛЁТА»

Рассматривается алгоритм построения онтологии, описывающей предметную область (ПрО) «Крыло самолета» на естественном английском языке в редакторе Fluent Editor. Онтологии в онтологическом редакторе Fluent Editor создаются с помощью контролируемого английского языка (от англ. Controlled Natural Languages, CNL). Для создания онтологии ПрО необходимо преобразовать текст из естественного английского языка в CNL.

Предметная область — множество всех предметов, свойства которых и отношения, между которыми рассматриваются в научной теории [1].

В последнее время все более широкое распространение получает использование онтологической модели для описания ПрО [2; 3]. Одной из проблем построения онтологической модели ПрО является неоднозначность описания данных. Для решения проблем неоднозначности используют естественные контролируемые языки [4]. Контролируемый язык — упрощенная версия естественного языка, созданная путем ограничения грамматики, терминологии и речевых оборотов, чтобы снизить или искоренить многозначность и сложность естественного языка [5].

Онтологический редактор, использующий при создании онтологии контролируемый язык,— это редактор Fluent Editor.

Fluent Editor — редактор от польской компании Cognitum для всеобъемлющего редактирования сложных онтологий, при создании которых используется естественный контролируемый язык [6]. В Fluent Editor контролируемым естественным языком является английский. CNL может служить для представления знаний и в качестве языка интерфейса систем знаний высокого уровня.

На рис. 1 представлен первоначальный вариант описания ПрО «Крыло самолета» [7; 8]. При введении данного текста онтологический редактор не распознает его. Окно, визуализирующее иерархию отношения классов и экземпляров онтологии,— окно дерева таксономии (от англ. Taxonomy Tree) остается пустым. Следовательно, необходимо упростить текст на естественном английском до CNL.

Алгоритм преобразования описания ПрО из естественного английского языка в CNL состоит из следующих действий:

1. Отбор предложений, имеющих смысловую нагрузку для онтологии. Предложения типа «The shape of the wing is of great importance for an aircraft.» следует убрать, чтобы не загромождать будущую онтологию.

2. Удаление вводных слов, прилагательных и наречий, приукрашивающих описание ПрО (every, very often, the primary, the secondary, main и др.), за исклю-

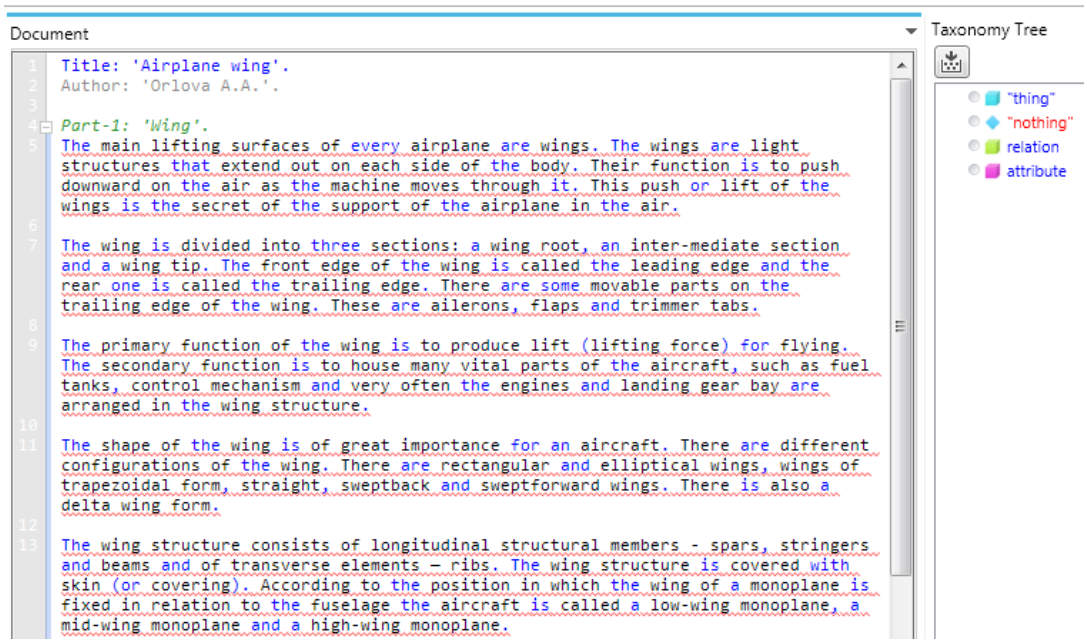


Рис. 1. Описание ПрО до преобразований

чением прилагательных, являющихся авиационными терминами (longitudinal, movable, front и др.). Текст после первого и второго преобразования представлен на рис. 2.

3. Замена местоимений (their и др.) на имена существительные, к которым они относятся (wing и др.).

4. Удаление уточнений типа «in the air», «for flying» и др., загромождающих онтологию лишней информацией. На рис. 3 представлено описание ПрО после преобразований 3 и 4.

5. Приведение предложения типа «The lifting surfaces of airplane are wings.» к форме «Every… is a…» («Every wings is a lifting surfaces of airplane»), воспринимаемой онтологическим редактором на CNL. С помощью этой формы предложения создается зависимость «класс—подкласс» (классом является термин, стоящий на месте сказуемого, а подклассом — подлежащего). Предложения, указывающие на экземпляры (частные виды классов, не имеющие подвидов), необходимо преобразовать по форме «…is a…» (Delta is a configurations of the wing.) [9; 10].

Также необходимо соблюсти однозначность понятий, например, фразу «the function of the wing» необходимо заменить более краткой «wing function», за счет чего исключается проблема многозначности профессиональных терминов ПрО.

Предложения с однородными членами «The function is to house many vital parts of the aircraft, such as fuel tanks, control mechanism and very often the engines and landing gear bay are arranged in the wing structure.» следует заменить на «House for fuel tanks is a wing function. House for control mechanism is a wing func-

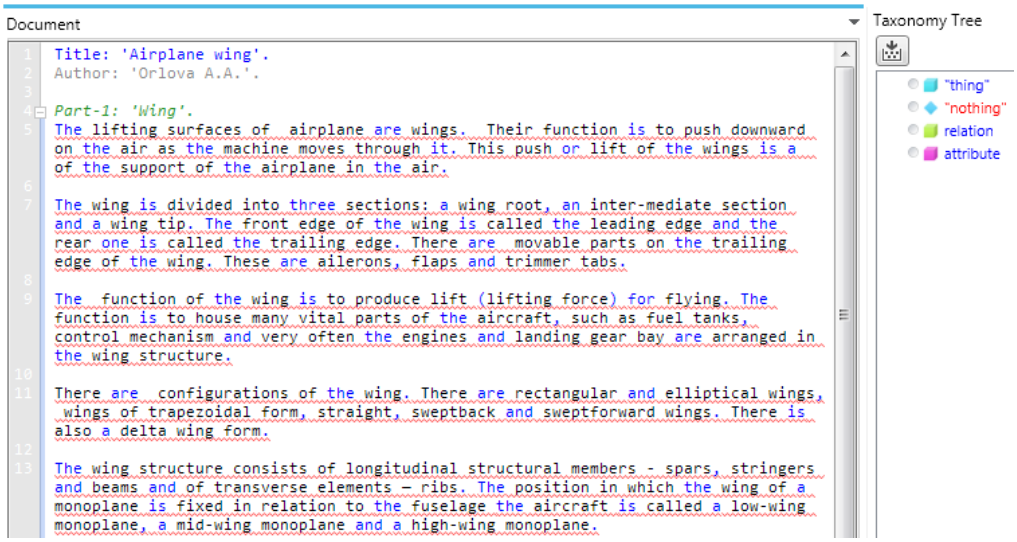


Рис. 2. Описание ПрО после выполнения первого и второго пункта алгоритма преобразования

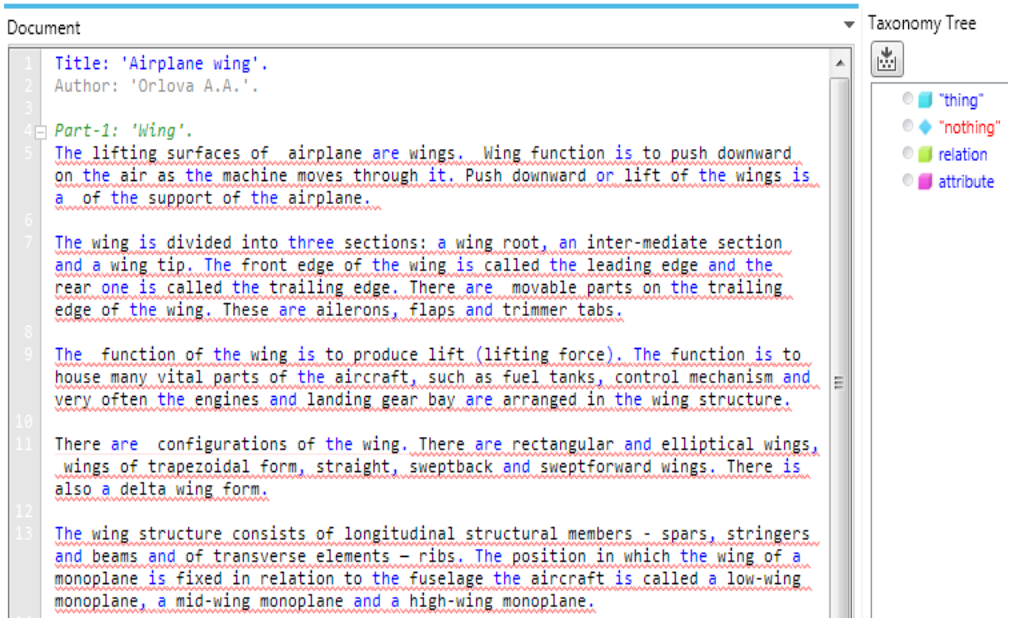


Рис. 3. Описание ПрО после выполнения третьего и четвертого пункта алгоритма преобразования

tion. House for the engines is a wing function. House for landing gear is a wing function.», то есть описать зависимость каждого экземпляра от класса по-отдельности (рис. 4).

6. По правилам CNL в имени класса и экземпляра не должно стоять пробелов, они заменяются на дефисы, каждое слово в имени класса начинается с маленькой буквы, в имени экземпляра — с заглавной. К примеру, «Every wings is a lifting surfaces of airplane.» следует записать как «Every wings is a lifting-surfaces-of-airplane.». После соблюдения всех особенностей CNL онтология ПрО приобрела вид, представленный на рис. 5. При этом исправлении происходят изменения в дереве таксономии (рис. 6). Это означает, что онтологический редактор распознал имя класса, следовательно, предложение написано с соблюдением синтаксиса CNL. Все зависимости «класс—подкласс» и «класс—экземпляр» визуализировались в иерархию в Дереве Таксономии (рис. 7).

7. Существуют предложения, которые можно записать с помощью создания отношений между классами и экземплярами, например, отношения «have», для этого следует исправить предложение «There are configurations of the wing.» на «Every wing have con-

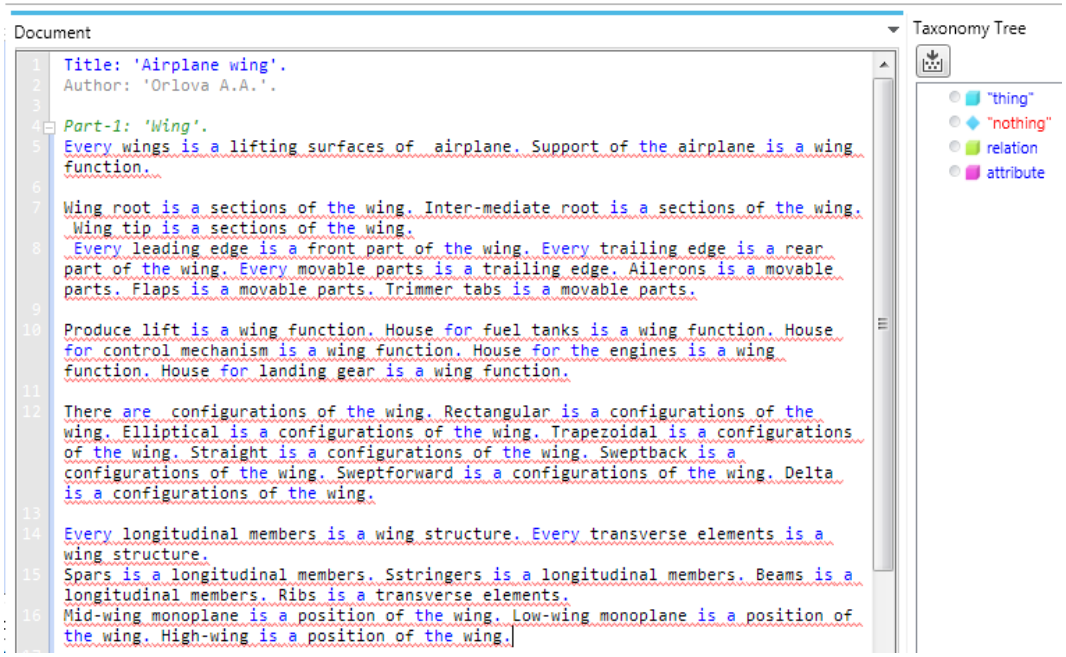


Рис. 4. Описание ПрО после выполнения пятого пункта алгоритма преобразования

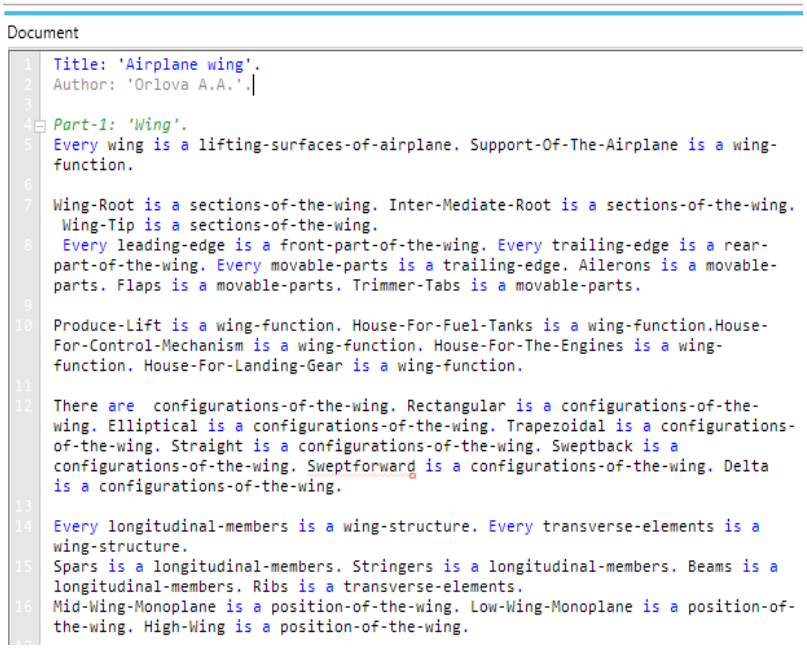


Рис. 5. Описание ПрО после выполнения шестого пункта алгоритма преобразования

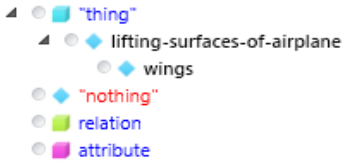


Рис. 6. Окно дерева таксономии к примеру в п. 6

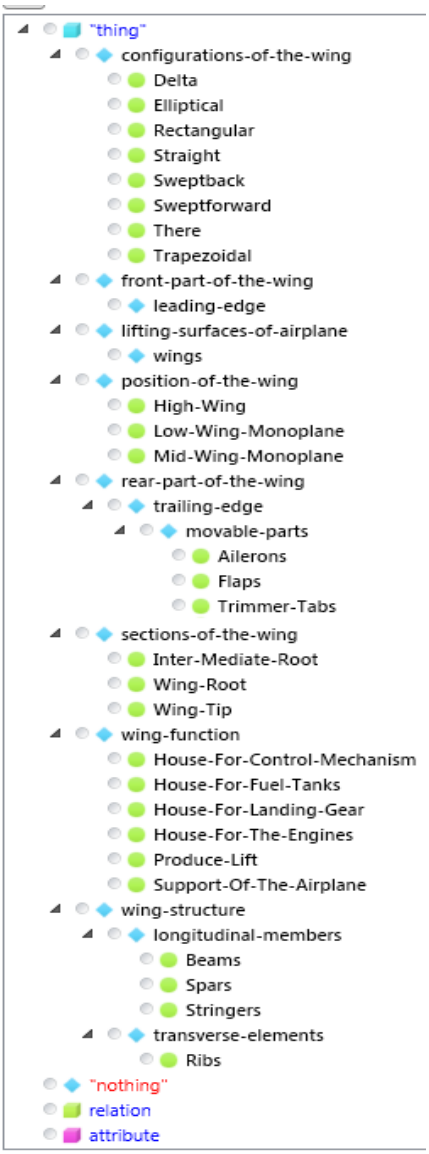


Рис. 7. Окно дерева таксономии после выполнения п. 6

Рис. 8. Часть окна дерева таксономии, визуализирующая отношения между объектами онтологии

figurations-of-the-wing.». Тогда в Дереве Таксономии в группе «relation» появится созданное отношение «have» между классами «wing» и «configurations-of-the-wing» (рис. 8).

8. Для более полного понимания отношений и иерархии между понятиями в ПрО у Fluent Editor существует инструмент визуализации построенной онтологию с помощью CNL-диаграммы (рис. 9).

Таким образом, была разработана технология упрощения технического текста на естественном английском в онтологию на CNL, путем упрощающих преобразований, но с соблюдением профессиональных терминов. Соблюдение профессиональной терминологии является важным обстоятельством при создании онтологии, так как это язык межперсонального взаимодействия [11]. Из всего вышесказанного следует вывод о возможностях онтологического редактора Fluent Editor служить механизмом упрощения текстов на естественном английском. Также следует отметить, что инструменты визуализации редактора удобны для проверки полноты и однозначности профессиональных текстов и отношений в рассматриваемой ПрО.

Библиографический список

1. Большой энциклопедический словарь. 2-е изд., перераб. и доп. М., 1998.

2. Габдрахманов, И. Н. Технология генерации онтологии базы данных с помощью онтологического толкового словаря [Электронный ресурс] / И. Н. Габдрахманов, В. Н. Кучуганов, Д. В. Медведев [и др.] // Онтология проектирования. 2012. № 4. URL: http://agora.guru.ru/scientific_journal/files/Ont_Design_4_2012.pdf

3. Боргест, Н. М. Онтологии: современное состояние : краткий обзор / Н. М. Боргест, М. Д. Коровин // Онтология проектирования. 2013. № 2 (8). С. 49–55.

4. Волохов, В. Онтологическая модель предметной области информационной системы поддержки инновационных разработок институтов РАН [Электронный ресурс] / В. Волохов, А. Прохоров, Е. Амосова // Информ. ресурсы России. 2011. № 3. URL: http://www.aselibrary.ru/press_center/journal/irr/irr2725/irr27253027/irr272530273071/irr2725302730713072/

5. O'Brien, S. Controlling controlled English an analysis of several controlled language rule sets [Электронный ресурс] / S. O'Brien // Machine Translation Archive. URL: http://www.mt-archive.info/CLT-2003-Obrien.pdf

6. Fluent Editor 2014 [Электронный ресурс] : Comprehensive Tool for Editing Complex Ontologies. URL: http://www.cognitum.eu/download_pub/Fluent_Editor_2014_broshure.en.pdf

7. Салманова, О. Б. Летательные аппараты : учеб. пособие по англ. яз. / О. Б. Салманова. Самара, 2009.

8. Airframe & Powerplant Mechanics [Электронный ресурс] : Airframe Handbook / U. S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, Oklahoma City, Oklahoma. URL: http://www.faa.gov/

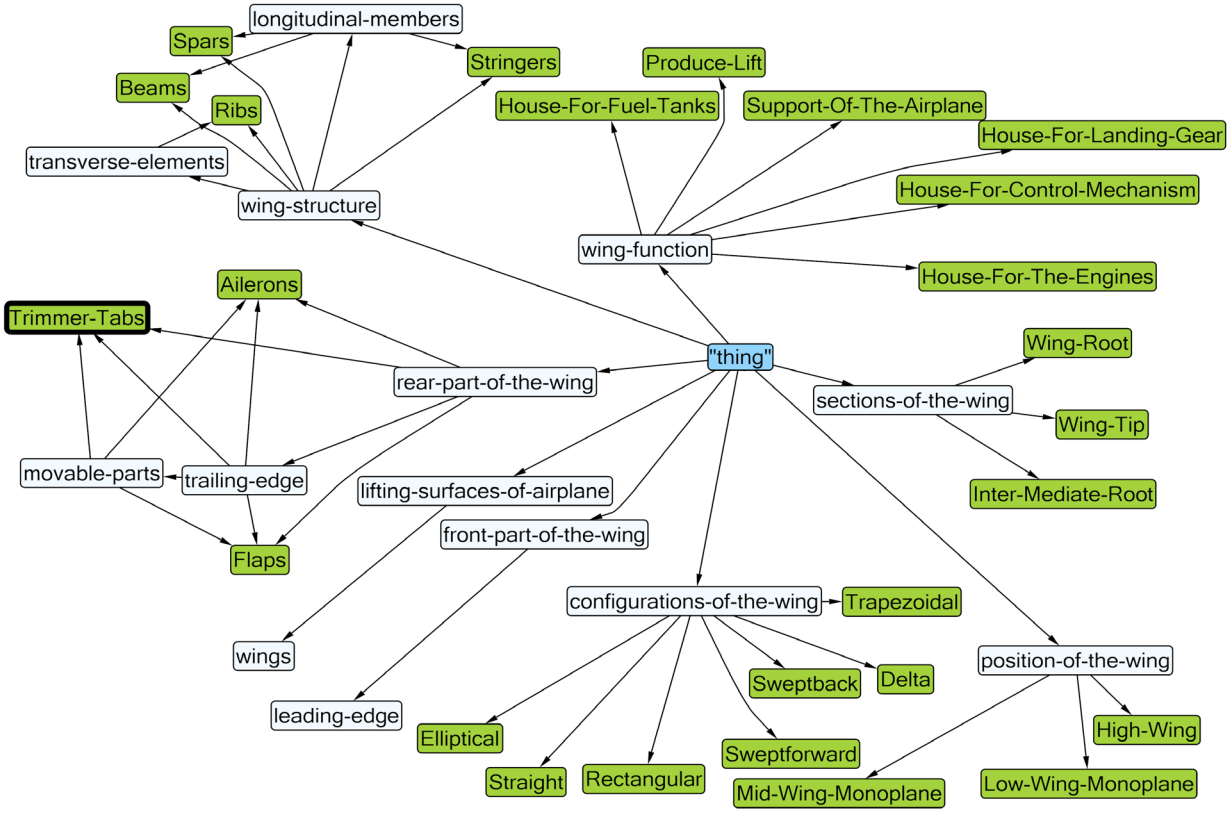


Рис. 9. CNL-диаграмма онтологии ПрО «Крыло самолета»

documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_65-15A.pdf

9. Боргест, Н. М. Введение в онтологию проектирования / Н. М. Боргест. Саарбрюкен, Германия : LAP Lambert Academic Publishing, 2015. 140 с.

10. Боргест, Н. М. Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения / Н. М. Боргест // Онтология проектирования. 2013. № 3 (9). С. 9–31.

11. Ландэ, Д. В. Подход к созданию терминологических онтологий [Электронный ресурс] / Д. В. Ландэ, А. А. Снарский // Онтология проектирования. 2014. № 2. URL: http://agora.guru.ru/scientific_journal/files/Ontology_Of_Designing_2_2014_op.pdf

Сведения об авторе

Орлова Анастасия Андреевна — студентка Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева.

A. A. Orlova

ALGORITHM ONTOLOGY CONSTRUCTION BASED ON ANALYSIS OF TEXTS EXAMPLES OF DOMAINS "AIRPLANE WING"

An algorithm for constructing the ontology describing the subject area "Airplane wing" in natural English, editor Fluent Editor. Ontologies in the ontological editor Fluent Editor created using Controlled Natural Languages (CNL). To create an ontology the need to convert text from a natural English in CNL. To test the converted text using a built-in editor ontological Fluent Editor checking mechanism literacy ontology written in the CNL. After all the points conversion algorithm were applied rendering engine. Thus, the technology has been developed to simplify the technical text in a natural English in the ontology at CNL, by simplifying the transformation, but in compliance with the professional terms. The conclusion is made about the possibilities of ontological editor Fluent Editor serve as a mechanism to simplify texts in natural English. It should also be noted that visualization tools are convenient editor to verify the completeness and uniqueness of professional texts and relationships considered a subject area.

ББК К642в635
УДК 672

А. А. Петунин, Е. Г. Полищук

РАСЧЁТ ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ РЕЗКЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Для резки листовых полос используются машины термической резки. При разработке для них алгоритмов генерации управляющих программ имеет значение распределение тепловых полей при резке контуров, поскольку это может помочь оценить тепловые деформации полосы и уменьшить возникающие вследствие этого геометрические искажения вырезаемых заготовок. Для проверки корректности выбранного маршрута резки желательно уметь рассчитывать тепловые поля в полосе в течение всего процесса резки. В статье приведены математическая постановка задачи и метод расчета тепловых полей.

Адекватная оценка тепловых деформаций материала при термической резке заготовок на машинах с числовым программным управлением (ЧПУ) важна для обеспечения необходимых технологических требований. Имеются некоторые эвристические подходы к решению этой задачи [1–3], которые могут быть использованы при генерации управляющей программы как в интерактивном, так и в автоматическом режиме генерации.

Постановка задачи

Имеется металлическая пластина. Заданы контуры, последовательность их резки, точки врезки и направления обходов. Для режущего инструмента заданы «радиус теплового луча», мощность, скорость перемещения и скорость холостого хода. Требуется рассчитать тепловые поля при последовательной резке контуров.

Для решения задачи написана компьютерная система, состоящая из следующих подсистем: подготовка процесса, расчет процесса резки контуров, просмотр результатов.

Подготовка процесса

Задание материала и толщины листа, чтение dxf-файла с контурами, задание порядка резки, точек врезки и направлений обхода.

Расчет процесса резки контуров

Последовательно для каждого контура рассматривается задача нахождения $\theta(t, x)$ — температуры (t — момент времени, x — точка области), удовлетворяющей уравнению теплопроводности

$$c\rho\frac{\partial\theta}{\partial t} = k\Delta\theta + N,\ \ x \in \Omega,$$

начальному условию

$$\theta(t_0, x) = \theta_0(x),\ x \in \Omega,$$

граничному условию

$$-k\frac{\partial\theta}{\partial n} = M(\theta - \theta_*),\ \ x \in \partial\Omega,$$

t из промежутка $[t_0, t_1]$, x — точка области $\Omega \in R^3$.

Здесь t_0 — время начала и t_1 — время окончания резки текущего контура, Ω — часть пластины, которая осталась после удаления областей, ограниченных предыдущими контурами, $\partial\Omega$ — граница области Ω.

Здесь c — удельная массовая теплоемкость, ρ — плотность, k — коэффициент теплопроводности, $N(t, x)$ — плотность тепловых источников, M — коэффициент теплопередачи, $\theta_0(x)$ — текущее температурное поле перед началом резки данного контура, θ_* — температура воздуха.

Функция N — плотность тепловых источников имеет следующий вид. Пусть толщина листа h, «радиус теплового луча» r, его мощность w и скорость перемещения v. Пусть $m(t)$ — положение оси теплового «луча» в момент t. Тогда $p = w/(\pi r^2 h)$ плотность мощности теплового «луча» и $N(t,x) = p$ в точках, находящихся от прямой $m(t)$ на расстоянии меньше r и 0 в остальных точках.

Аппроксимация задачи

Процесс пересчета температурного поля $\theta(t, x)$ во время резки контура разбивается на малые промежутки времени $[t_{r-1}, t_r]$ длины Δt и для расчета $\theta(x) = \theta(t_r, x)$ рассматривается задача

$$c\rho\frac{\theta(x) - \theta_0(x)}{\Delta t} = k\Delta\theta(x) + N(x),$$

$$-k\frac{\partial\theta}{\partial n} = M(\theta - \theta_*),$$

где $\theta_0(t_{r-1}, x)$ и $N(x) = N(t_{r-1}, x)$.

Область Ω разбивается на тетраэдры, функции $\theta(x)$, $\theta_0(x)$, $N(x)$ — кусочно-линейные, определяемые значениями в узлах — вершинах тетраэдров. Решение данной задачи является точкой минимума следующего функционала

$$I(\theta) = \frac{1}{2\Delta t}\int_\Omega c\rho(\theta - \theta_0)^2 dx + \frac{1}{2}\int_\Omega k\,|\,grad\theta\,|^2\ dx -$$

$$\int_\Omega N\theta dx + \frac{1}{2}\int_{\partial\Omega} M(\theta - \theta_*)^2 dS.$$

Нахождение точки минимума данного квадратичного функционала проводится методом релаксации [4]. Выбор метода основан на следующих соображениях.

Так как радиус r «теплового луча» мал, то тетраэдры разбиения области должны иметь малый размер (в расчетах длина стороны была 2 мм) и поэтому их много. В узлах, далеких от точек, где уже был «те-

пловой луч» и куда еще не могло дойти изменение тепла к данному моменту времени, температура остается первоначальной. Метод релаксации позволяет пропустить такие узлы, что уменьшает время счета.

Замечание. Для уменьшения числа тетраэдров (узлов) при расчете резки очередного контура K_i рассматривается не вся оставшаяся пластина, а кусок $\Omega_i \supset \Omega_{i-1}$. Кусок достаточно большой, чтобы к моменту завершения резки контура K_i температура вне Ω_i не могла измениться. После завершения резки контура тетраэдры внутри контура удаляются и их число уменьшается. Дальше производится расширение СКЭ до следующего куска Ω_{i+1}.

Просмотр результатов

Подсистема позволяет просматривать изменение температурных полей в процессе резки. На рис. 1 показан пример задания порядка резки 6 заготовок (8 контуров), точек врезки и направление обхода (знак минуса означает обход по часовой стрелке). Материал пластины — сталь 12Х2Н4А , толщина h = 2 мм, размеры 1 000×1 000 мм. Радиус «теплового луча» r = 2 мм, мощность w = 1 000 Вт, скорость v = 10 мм/с. На рис. 2 показано температурное поле на одной из стадий процесса резки 5-го контура.

Замечание. Расчеты могут быть полезны при выборе точек врезки. См. рис. 3 и 4. Эти процессы отличаются только точкой врезки. На рис. 3 точка врезки вблизи кромки пластины. Средняя температура в выделенном окне вокруг точки завершения резки контура 480 °С. На рис. 4 точка врезки далеко от кромки. Средняя температура в выделенном окне 362 °С. Приведенные расчеты подтверждают целесообразность использования эвристических правил, описанных в [3].

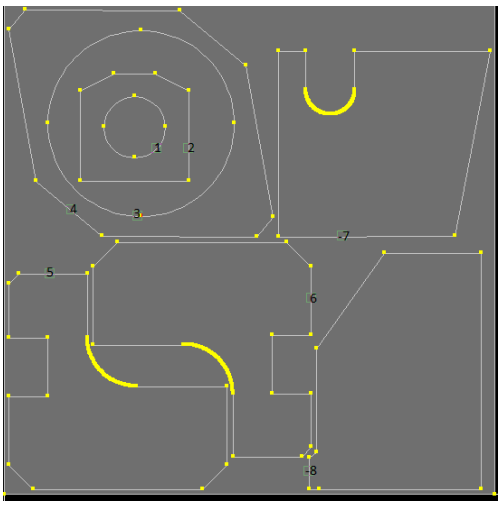


Рис. 1. Места точек врезки и порядок резки для 8 контуров

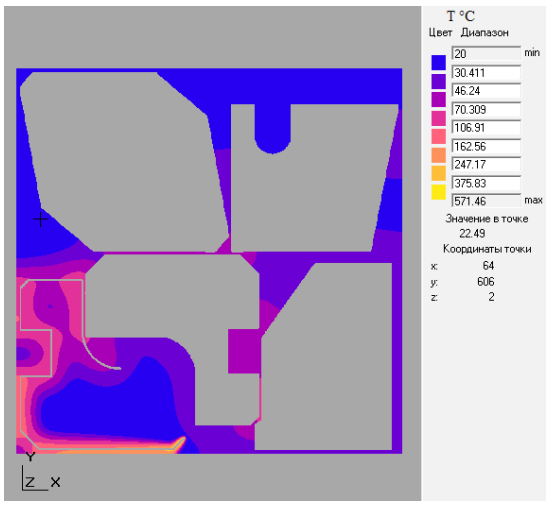


Рис. 2. Пример распределения тепловых полей в процессе резки 5-го контура

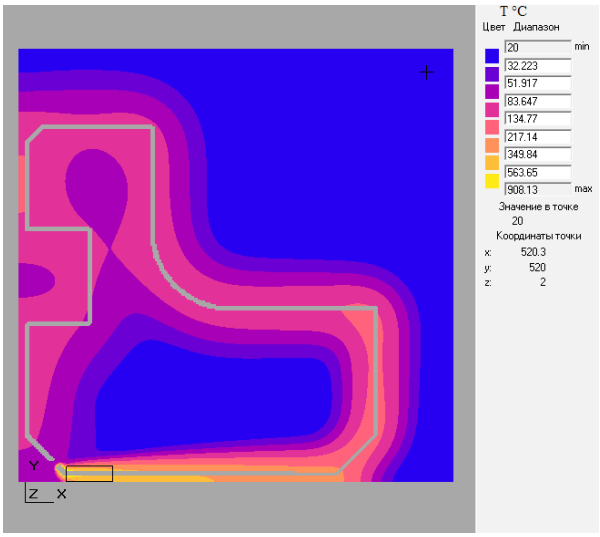


Рис. 3. Температурное поле при выборе точки врезки вблизи края пластины

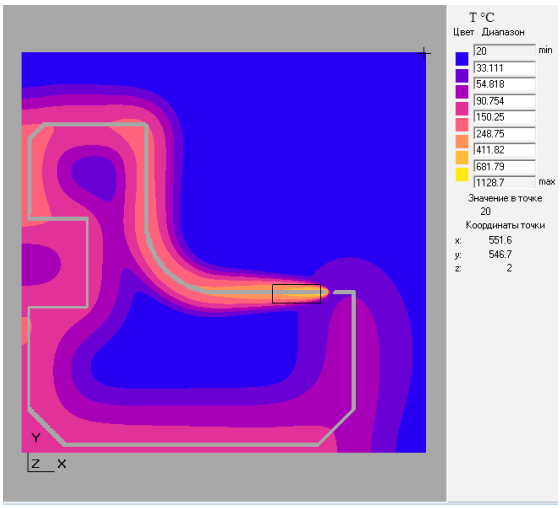


Рис. 4. Температурное поле при выборе точки врезки вдали от края пластины и границ вырезанных заготовок

Библиографический список

1. Dewil, R. Construction heuristic for generation tool parts for laser cutters / R. Dewil, R. Vansteenwegen, D. Cattrysse // Int. J. Prod. Res. 2014. Vol. 52, № 20. P. 5965–5984.
2. Dewil, R. An Improvement heuristic framework for for laser cutting tool part problem / R. Dewil, R. Vansteenwegen, D. Cattrysse, T. Vossen, M. Laguna // Int. J. Prod. Res. 2015. № 53 (6).
3. Петунин, А. А. О некоторых стратегиях формирования маршрута инструмента при разработке управляющих программ для машин термической резки материала / А. А. Петунин // Вестн. УГАТУ. Сер. Управление, ВТ и И. 2009. Т. 13, № 2 (35). С. 280–286.
4. Гловински, Р. Численное исследование вариационных неравенств / Р. Гловински, Ж. Л. Лионс, Р. Тремольер. М. : Мир, 1979.

Сведения об авторах

Петунин Александр Александрович — доктор технических наук, профессор Уральского федерального университета, Екатеринбург. a.a.petunin@urfu.ru

Полищук Ефим Григорьевич — кандидат физико-математических наук, доцент Уральского федерального университета, Екатеринбург. e.polish@mail.ru

---

A. A. Petunin, E. G. Polishchuk

THERMAL FIELDS CALCULATION FOR THE THERMAL CUTTING PARTS FROM SHEET MATERIALS

To check the selected cutting tool path, it is desirable to calculate the thermal field in the sheet during the cutting process. In this article we study the mathematical methods for the calculation of thermal fields.

ББК О17
УДК 656

О. Н. Сметанина, Е. Ю. Рассадникова

ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТОМ

Приводится определение транспортной системы и ее основных элементов, а также дается классификация транспортных систем. Выявлено место интеллектуальных систем управления транспортом в транспортном менеджменте, определен функционал таких систем, приведены результаты сравнительного анализа интеллектуальных систем управления транспортом. Особое внимание уделено лидеру на рынке Transportation Management System системе ArcLogistics.

Введение

Задачи управлением транспортировкой не новы, но по-прежнему актуальны. Успешная транспортировка продукции может зависеть от многих факторов, среди которых погодные условия, техническое состояние и загруженность дорог, квалификация водителей и др. Появление предприятий малого и среднего бизнеса, возросшие потребности использования населением для передвижения собственных автомобилей приводят к увеличению транспортного потока.

В нынешних условиях, когда возникла необходимость ориентации на собственное внутрироссийское производство готовой продукции, меняются устоявшиеся связи «клиент–поставщик», что является предметом поиска совершенно новых маршрутов для ряда производителей, имеющих свои транспортные средства. При планировании маршрута необходимо учитывать время прибытия, специфику используемого транспорта, качество дорог, особенность доставляемого груза, требования клиента и многое другое. Учет множества важнейших факторов при составлении маршрута движения транспортного средства часто усложняет задачу.

Если в компании работают опытные планировщики и количество разрабатываемых маршрутов в день невелико, эта работа с достаточной степенью точности может быть выполнена и вручную. Однако в более крупных фирмах, осуществляющих сотни доставок в день, человеческий фактор неизбежно приводит к ошибкам. Это может быть связано как с ошибками в планировании, так и с принятием неэффективных решений из-за отсутствия необходимой информации. Очевидно, что вне зависимости от причин невыполненная доставка, во-первых, весьма негативно скажется на отношении клиента к услугам компании, а во-вторых, приведет к значительным финансовым потерям фирмы, так как потребуется почти полностью повторить цикл обработки заказа. При этом придется возвращать товар на склад, повторно готовить отгрузочные документы и снова осуществлять доставку.

Все вышеперечисленное приводит к необходимости совершенствования инструментов управления транспортировкой. Такими инструментами могут выступать интеллектуальные системы управления транспортом, использование которых на этапе формирования маршрута сводит к минимуму негативное влияние человеческого фактора.

В статье приводится определение транспортной системы и ее основных элементов, а также дается классификация транспортных систем. Выявлено место интеллектуальных систем управления транспортом в транспортном менеджменте, определен функционал таких систем, приведены результаты сравнительного анализа интеллектуальных систем управления транспортом. Особое внимание уделено лидеру на рынке Transportation Management System системе ArcLogistics.

Место интеллектуальных транспортных систем в транспортном менеджменте

С понятием транспортного менеджмента (обеспечение поставок сырья, материалов, оборудования, инструмента) связывают множество других, в частности, транспортную систему, под которой понимают [6] «технологически взаимосвязанную систему транспортных средств (ТС), транспортных коммуникаций, транспортной инфраструктуры независимо от формы собственности, системы регулирования их взаимодействия». Единой классификации транспортных систем не существует. Однако ряд специалистов [1] выделяет их следующие виды: мировая — как элемент современной глобальной экономики; региональные, формирование которых сопутствует процессам региональной экономической интеграции; национальные; зональные; корпоративные — как элементы отдельных хозяйствующих субъектов.

Под корпоративными транспортными системами понимаются системы транспортных и нетранспортных предприятий (промышленных, торговых и др.). Из определения транспортной системы следует, что для ее успешного функционирования необходимо взаимодействие транспортных средств (технических устройств для перевозки людей и/или грузов), транспортных коммуникаций (физическая среда, в которой перемещаются люди и/или грузы (автомобильные дороги, железнодорожные пути, воздушные трассы, водные пути), информационные и навигационные системы) и транспортной инфраструктуры

(предприятия, организации и службы, обеспечивающие функционирование транспорта).

Одними из важных компонентов транспортных коммуникаций являются информационные и навигационные системы, также называемые интеллектуальными транспортными системами, которые направлены на решение задачи управления дорожным движением, мониторинга и управления работой всех видов транспорта (индивидуального, общественного, грузового), информирования граждан и предприятий об организации транспортного обслуживания на территории региона [3].

Анализ программных решений в области управления транспортом

Для оптимизации процесса транспортировки грузов в промышленных и транспортных предприятиях используют системы управления транспортом (Transportation Management System (TMS)), которая, в свою очередь, является интеллектуальной транспортной системой. TMS обеспечивают планирование и подготовку принятия решений (по оптимизации маршрутов ТС, входящему и исходящему режиму транспортировочных операций и др.), мониторинг, анализ, составление отчетности.

В зависимости от набора функциональных возможностей системы управления транспортом условно разделены на два типа. Для первого типа TMS (например, пакеты прикладных программ ArcLogistics (Esri, Inc, 1998), Descartes Routing, Mobile & Telematics Suite (Descartes Systems Group, 1998), DISC (MJC2, 1990), IBMILOG Transportation Analyst (IBM, 2000); а также ANTOR Logistics Master (ANTOR Бизнес-решения, 2003), TopLogistic (TopPlan)) характерны функции планирования, анализа и управления, составления отчетности. Системы второго типа (например, пакеты прикладных программ Глонасс Omnicomm (Omnicomm,1998), ANTOR Monitor Master (Информационные технологии, 2003)) связаны с мониторингом деятельности компании в реальном масштабе времени [2].

Общими функциональными возможностями Transportation Management Systems являются:

− оформление и отслеживание заявок на перевозку;

− планирование маршрутов в зависимости от специфики деятельности предприятия, прогноз временных и денежных затрат на доставку по найденным маршрутам, расчёт необходимого количества ТС, назначение ТС на заказы, процесс назначения водителя на ТС;

− мониторинг заявок, маршрутов в реальном времени;

− создание отчетов о пробеге, расходе топлива, анализ реальных затрат на доставку.

К преимуществам использования TMS относится: снижение транспортных издержек; выявление слабых мест в существующей транспортной розничной системе (ТРС) и разработка рекомендаций по их устранению; максимально рациональное использование существующих объектов ТРС с учетом накладываемых специальных ограничений (ресурсных, технологических, дорожных); улучшение сервиса; повышение сохранности и безопасности ввозимого товара; прозрачность перевозок в ТРС [2].

В системах управления транспортом на данный момент реализовано комплексное управление транспортировкой с учетом различных требований предприятий, как промышленных, так и выполняющих только транспортировку грузов. Ряд систем TMS отличается использованием того или иного алгоритма поиска; учетом специфики временных окон (softtimewindow, hardtimewindows); картами для геокодирования маршрута (NAVTEQ, TeleAtlas, GPS/ГЛОНАСС); учетом информации о дорожных пробках в реальном времени (использование прогнозированного времени в пути между клиентами, изменение маршрута в реальном времени); область применения (такси, скорая, полиция, пожарные, промышленные предприятия, логистические перевозчики); а также условиями использования (плата за карты каждого региона, лицензии для каждого компьютера) и стоимостью ПО [7].

Для сравнения программных решений в области управления транспортировкой, представленных на российском рынке, были выделены наиболее распространенные программные решения зарубежных (ESRI, Arc Logistics Route, IBMILOG Transportation Analyst, Roadnet Transportation Suite) и отечественных (АНТОР: Logistics Master (АНТОР), ТопПлан: TopLogistic (ТопПлан)) разработчиков. Сравнительный анализ (таблица) показал, что абсолютным лидером на рынке TMS является система ArcLogistics.

Преимущества системы ArcLogistics

Основными преимуществами ArcLogistics являются распределение заказов по транспортным средствам; наличие дорожных данных на всю территорию Европы (включая Россию); совместимость с другими программными продуктами компании ESRI; совместимость с 1С предприятия; использование множества депо; большое количество характеристик транспортных средств; инструменты связи с внешними системами; учет временных окон; работа с парными заказами; разнообразные отчеты; учет зон ответственности водителей.

Пользователи ArcLogistics имеют возможность решения ряда задач: поиск адреса заказа (геокодирование); прикрепление заказа к определенному транспортному средству/водителю в зависимости от их специализации; определение оптимальной последовательности остановок, с учетом следующих ограничений: временные окна клиентов и поставщиков, овертайм, минимизация времени простоя транспорта; вместимость транспорта.

Сравнительный анализ Transportation Management System, представленных на российском рынке

Характеристика	Наименование программного решения				
	ESRI: ArcLogistics Route (Esri, Inc)	IBM ILOG Transportation Analyst (IBM)	Roadnet Transportation Suite (Roadnet Technologies)	АНТОР: Logistics Master (АНТОР), РФ	ТопПлан: TopLogistic (ТопПлан), РФ
Интеграция в 1С	+	–	–	–	–
Учет заявок на доставку	+	+	+	+	+
Построение маршрутов для одного заказа	+	+	+	+	+
Построение маршрутов для нескольких заказов одновременно	+	+	+	+	+
Учет временных окон	+	+	+	–	–
Учет транспортных пробок	+	+	+	–	–
Используемая карта в ПО	Esri Inc., NAVTEQ or custom	IBM Views	Различные виды карт	GPS/Глонасс	GPS/Глонасс
Возможность разбиения заказов по ТС	+	+	+	+	+
Учет нескольких депо	+	+	+	–	–
Учет постоянных затрат	+	+	+	–	–
План-факт (анализ)	+	+	+	–	–
Итоговые отчёты	+	+	+	+	+
Стоимость, у. е. (2013)	28 421	Информация отсутствует	26 315	1 754	2 105

Оптимизация маршрутов выполняется путем минимизации стоимости передвижения, для расчета которой в совокупности учитывается ряд параметров: общая протяженность маршрута; стоимость проезда километра пути; фиксированная стоимость дня работы ТС; почасовая стоимость работы ТС; стоимость работы водителя сверх положенного времени.

Компания ESRI продолжает успешно совершенствовать программное обеспечение ArcLogistics, расширяет функциональные возможности.

Заключение

Результаты проведенного анализа систем управления транспорта, представленных на российском рынке, позволили сделать вывод о том, что, несмотря на значительные достижения в области развития этих систем, все еще остаются так называемые белые пятна. Это обусловлено тем, что производственный спектр обширен и для каждой отрасли необходимо учитывать свои специальные ограничения. Так, например, для предприятий, производящих молочную продукцию, приоритетным ограничением является время транспортировки грузов, а для нефтехимических предприятий, перевозящих опасную продукцию, — обеспечение безопасности транспортировки грузов, и в связи с этим, отдельный блок в системе управления транспортом должен быть посвящен построению различных сценариев при транспортировке опасной продукции. Таким образом, задача разработки программного обеспечения для управления транспортом до сих пор является актуальной. Авторы также занимаются разработкой программных решений в области управления транспортом [5].

Результаты исследований, представленные в статье, частично поддержаны грантами 16-07-00773-а «Локальные бизнес-приложения на основе интеллектуальных информационных технологий с использованием ресурсов IT-инфраструктуры для поддержки управленческих решений в производственных системах с учетом рисковых ситуаций (на примере нефтехимической отрасли)», 14-07-00811-а «Интеллектуальная поддержка принятия решений при управлении ресурсами сложных систем», 15-07-01565-а «Поддержка принятия решений на основе интеллектуальных технологий при управлении сложными системами в условиях неопределенности и ресурсных ограничений».

Библиографический список

1. Герами, В. Д. Управление транспортными системами. Транспортное обеспечение логистики : учеб. и практикум для акад. бакалавриата / В. Д. Герами, А. В. Колик. М. : Юрайт, 2014. 510 с.

2. TAdviser [Электронный ресурс] : интернет-портал аналит. агентства в области ИТ-систем. URL: www.tadviser.ru

3. Навигационно-информационные системы [Электронный ресурс] : офиц. сайт. URL: www.nis-glonass.ru

4. Рассадникова, Е. Ю. Мировой и российский ИТ-рынок систем управления транспортом / Е. Ю. Рассадникова // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений : тр. Междунар. конф., 21–25 мая 2013. Уфа, 2013. С. 113–117.

5. Рассадникова, Е. Ю. Система поддержки принятия решений при планировании транспортного процесса с учетом специальных ограничений (на примере нефтехимического предприятия) : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Рассадникова Екатерина Юрьевна. Уфа, 2015. 16 с.

6. Модельный закон «О транспортной деятельности», принят на 29-м пленарном заседании Межпарламентской ассамблеи государств-участников СНГ (постановление от 31 октября 2007 г. № 29–8).

7. Hall, R. Survey of vehicle routing software spotlights critical supply chain management role / R. Hall // On the Road to Integration, 2006.

Сведения об авторах

Сметанина Ольга Николаевна — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. smoljushka@mail.ru

Рассадникова Екатерина Юрьевна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. rassadnikova_ekaterina@mail.ru

---

O. N. Smetanina, E. Yu. Rassadnikova

SOFTWARE SOLUTIONS IN THE FIELD OF TRANSPORT MANAGEMENT

In this article authors present definition of the transport system, its basic elements and classification of transport systems. The place of intelligent transport management systems in transport management was revealed, functionality of such systems was defined, and results of the comparative analysis of intelligent transport management systems were presented. Special attention is given to the leader on the market of Transportation Management System — ArcLogistics.

ББК 3813
УДК 004.8

Л. Л. Чекалов

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В МУЛЬТИАГЕНТНОМ УПРАВЛЕНИИ

Определяются различия в обработке информации биологических и технических систем. При описании различий информация разделяется на физическую и психическую, дискретную и непрерывную. Память, как прошлый опыт (информация), является основой принятия решений и управления любой системой. Также рассматривается отличие двух способов обработки информации и принятия решения, обусловленных внутренним механизмом обработки информации в биологических и технических системах.

В современном мире мы повсеместно наблюдаем взаимодействие биологических и технических систем. Особенности этого взаимодействия могут быть научно осознаны или оставаться на уровне интуитивного знания, не выраженного в формальной форме.

В данной работе делается описание памяти (опыта) как универсальной функции в биологических и технических системах с учетом понятий высокого уровня абстракции — информация, пространство, движение, время, управление, структура. Под термином «биологические системы» понимается человек. При определенных условиях и соглашениях по терминологии биологические системы можно описывать средствами описания технических систем, используя понятие информации [1; 2].

Под информацией понимается комплекс свойств и состояний самой биологической или технической системы, а также их изменение при движении и взаимодействии с объектами или субъектами внешнего пространства или частями внутреннего пространства.

Элементами системы являются агенты, имеющие возможности к восприятию и обработке информации. Агентами могут быть биологические (человек) или технические системы. Взаимодействие таких агентов образует структуру мультиагентного управления.

Агенты системы выполняют:

– получение текущей физической информации о ситуации во внешнем и внутреннем пространстве агента;

– соединение текущей информации с прошлой информацией (опытом или памятью), в результате физическая информация переходит на смысловой уровень и становится смысловой информацией настоящего времени (обработка информации);

– формирование информации о возможных изменениях внешнего и внутреннего пространства агента и планирование управления агентом в будущем тоже на основе прошлого опыта.

Обработка информации и управление в биологической и технической системе осуществляется на основе прошлой информации (памяти, опыта). Прошлая информация в технической системе, содержащая в себе опыт управления, определяется совокупностью алгоритмов и данных. В мультиагентной системе принятие решений по определенным параметрам может передаваться на следующие верхние иерархические уровни, и тогда нужно понимать, что также наверх передается прошлая информация (память, опыт), необходимая для управления.

Любой шаг в обработке информации начинается с физической информации и заканчивается переходом к смысловой или психической (для биологических систем) информации. Если говорить об обычном датчике, то изменение его физического состояния интерпретируется в смысловое изменение, допустим — температуры или давления или ещё какого-либо параметра (смысла). Если говорить о человеке, то физические изменения на сетчатке глаза после соединения с памятью приводят к осознанию смысла картины внешнего пространства. Текущая информация в физическом виде и дискретной форме поступает на рецепторы или датчики элемента системы. Под дискретностью здесь понимается не чисто физическая или математическая дискретность, а пространственно-смысловая (качественная) дискретность. Например, датчик или рецептор может измерять непрерывную характеристику потока, но в определенном пространственном ограничении и в определенном качественном ограничении измеряемого параметра, что и обусловливает его дискретность по отношению к другим датчикам или рецепторам.

В дальнейшем, из дискретных фрагментов физической информации формируются большего объема фрагменты непрерывной информации, объединенные каким-либо смыслом. Например, из огромного потока дискретных физических фотонов, попадающих на сетчатку глаза, человек формирует смысловые психические фрагменты — дерево, трава, машина. Причем процессом перехода от физической информации к смысловой (психической) человек не управляет, т. е. вместо дерева увидеть машину мы не можем.

Переход от физической к смысловой (психической) информации, осуществляемый человеком, можно назвать непрерывной неуправляемой обработкой информации. Неуправляемость характеризуется невозможностью влияния на результат обработки информации.

С другой стороны, человек может заняться геометрическими пошаговыми построениями, управляя процессом обработки смысловой информации и даже влияя на конечный результат обработки информации выбором исходных аксиом (геометрия Евклида или Лобачевского). Этот процесс можно назвать дискретной управляемой обработкой информации. В этом случае человек может сообщить другому человеку последовательность шагов, ведущих к полученному результату, или написать алгоритм.

Агент, выделенный в пространстве, времени и движении, является единицей принятия решения и управления в системе. Соответственно, агент для принятия решения должен обладать возможностью получать и обрабатывать информацию о своем внутреннем и внешнем пространстве и обладать прошлой информацией (опытом) физическим и смысловым.

Биологические и технические агенты имеют свои особенности в принятии решений и обработке информации. Каждые 200–400 мс у человека происходит неуправляемое принятие решения [3], связанное 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 человеком накоплен связанный с данной физической информацией психический опыт.

На физиологическом уровне можно отметить, что человек имеет психофизиологические различия левого и правого полушарий мозга и это позволяет ему по-разному воспринимать действительность и накладывает особые ограничения на обработку информации и принятие решений.

Функциональные особенности левого полушария: ведает логическим мышлением, знаковым восприятием действительности, аналитическим расчленением целого на элементы. Функциональные особенности правого полушария: отвечает за образное мышление, за целостное восприятие объектов; позволяет одномоментно охватывать все имеющиеся в предмете связи [4]. У человека возможны смещения в обработке информации между левым и правым полушарием, и это приводит к различным вариантам принятия решений.

Любую ситуацию, связанную с принятием решения, можно представить в пространстве-времени как на рисунке [5]. Необходимые шаги принятия решения и управления:

1) прошлый опыт (точки 1–2 на рисунке);

2) текущая ситуация (ТС) (точка 2);

3) сравнение текущей ситуации с опытом (обработка информации) (точки 2–3);

4) принятие решения (точка 3);

5) управление движением в пространстве (точки 3–4).

Как будет выполнять эти шаги левое полушарие (дискретная обработка информации):

1. Прошлый опыт — дискретный фрагментарный алгоритмически взаимосвязанный, он ориентирован на ограниченное количество целей и поддается описанию знаковыми системами, вернее он формируется в процессе обучения через знаковые системы.

2. Текущая ситуация — дискретизируется (или фрагментируется) алгоритмически по набору параметров в соответствии с целями прошлого опыта (время между точками 2–2’ больше нуля). Точка 2’ характеризует окончание предварительного этапа обработки информации — дискретизация текущей ситуации.

3. Обработка информации — дискретная информация текущей ситуации сравнивается алгоритмически с дискретным опытом (время между точками 2’–3 больше нуля).

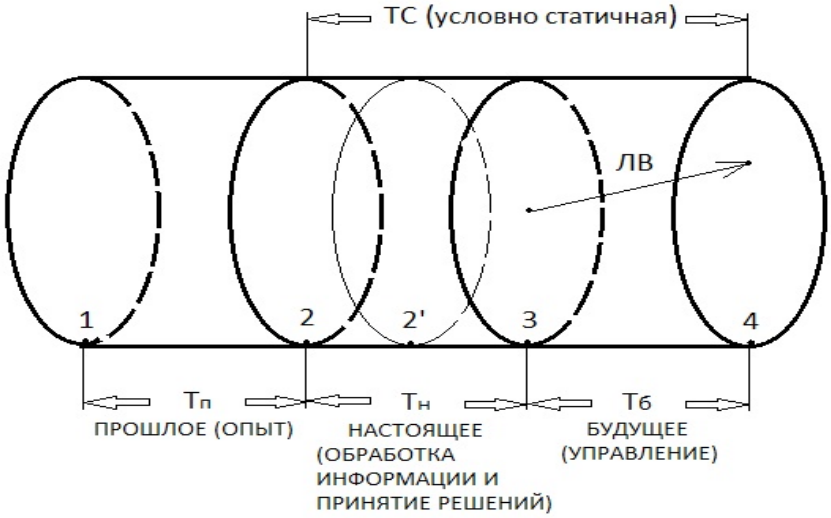


Схема одного шага обработки информации, принятия решения и управления

4. Принимается решение на основе главным образом количественных сравнений — точка 3. Если необходимо, подтверждение истинности принятия решения в сознании до начала практической реализации происходит на основе алгоритма.

5. Управление. Практическая проверка истинности принятого решения и попытка его совмещения с целью.

У правого полушария схема будет несколько иная:

1) прошлый опыт — непрерывно-дискретный, более целостный, менее фрагментарный, не алгоритмический;

2) 3) 4) текущая ситуация — дискретизируется, сравнивается с опытом, содержащим физическую и психическую информацию в связанном виде, и принимается решение на основе ощущения (чувства). Все три действия проходят «одновременно», и подтверждение истинности принятия решения в сознании проводится без участия алгоритма на основе ощущения (чувства) «мгновенно» (время между точками 2–3 стремится к нулю);

5) управление. 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 принятии решений доминирует то одно, то другое полушарие и, соответственно, происходит либо более дискретная управляемая алгоритмическая обработка информации, либо более непрерывная неуправляемая чувственная обработка информации.

Исходя из различий в обработке информации техническими и биологическими системами можно более эффективно осуществлять проектирование мультиагентных систем, в которых агентами являются и технические и биологические системы.

Необходимо учитывать, что преимуществом технической системы является количественное и алгоритмическое (дискретное) сравнение информации текущей ситуации с памятью, а биологическая система производит также качественные непрерывные сравнения огромного объема дискретной информации текущей ситуации, поступающей на рецепторы органов чувств, с огромным объемом дискретной и непрерывной физической и психической информации памяти, не используя алгоритма.

Соответственно, если есть возможность структуризации и алгоритмизации прошлого опыта и текущие ситуации будут находиться в пределах этого опыта, то в этом случае преимущество может быть отдано агентам в виде технических систем. Если же в данный момент в определенном элементе мультиагентной системы нет приемлемой структуризации и алгоритмизации прошлой информации (опыта) и/или невозможно заранее определиться с предельными параметрами текущих ситуаций, то для принятия решений и управления, или хотя бы для контроля, необходимо присутствие человека в качестве агента в данном элементе.

Библиографический список

1. Корогодин, В. И. Информация как основа жизни / В. И. Корогодин, В. Л. Корогодина. Дубна : Феникс, 2000. 208 с.
2. Петрушенко, Л. А. Самодвижение материи в свете кибернетики / Л. А. Петрушенко. М. : Наука, 1971. 290 с.
3. Анохин, К. В. Что происходит в мозге, когда рождается мысль? / К. В. Анохин // Популяр. механика. 2012. № 11 (121). С. 66–67.
4. Геодакян, В. А. Эволюционные теории асимметризации организмов, мозга и тела / В. А. Геодакян // Успехи физиол. наук. 2005. Т. 36, № 1. С. 24–53.
5. 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.

Сведения об авторе

Чекалов Леонид Леонидович — кандидат технических наук, директор ООО «Транс-Мобил Спедишн», Самара. Ltrans777@mail.ru

---

L. L. Chekalov

INFORMATION SPECIFICITY BIOLOGICAL AND TECHNICAL SYSTEMS IN MULTIAGENT CONTROL

The article defines the differences in information processing of biological and technical systems. In describing the difference information is divided into physical and mental, discrete and continuous. Past experience (memory) is the basis for decision-making and management of any system. Two methods of information processing and decision-making related to the internal specificity of biological and technical systems are also described.

ББК О52-02
УДК 629.7.01

Д. В. Шустова

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ОНТОЛОГИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ»

Описывается методика создания онтологий в предметной области (ПрО) «Проектирование и производство авиационной техники» (ППАТ), являющихся семантическими основами при создании информационных систем (ИС). Методика отражает правила и принципы разработки онтологий с учетом специфики сущностей и отношений в ПрО ППАТ.

Предлагаемая методика включает в себя совокупность правил и принципов разработки тезаурусов и онтологий, описанных в источниках [1–5], а также правила и принципы, включенные автором в соответствие с проведенным анализом и спецификой ПрО ППАТ [6; 7]. Методика содержит следующие основные этапы.

1. ПрО создаваемой онтологии

Перед созданием онтологии необходимо определить глобальные границы исследуемой ПрО (самолетостроение, машиностроение, электротехника и др.) и локальные границы (одну или несколько стадий проектирования, один или все виды летательных аппаратов, автомобилей, двигателей и др.) для того, чтобы в процессе создания не перейти в смежную ПрО. Для определения границ ПрО не существует строго формальных правил, при этом существенное значение имеют задачи, под которые создается онтология, варианты и сценарий ее использования. В процессе использования онтологии возможно добавление или удаление некоторых сущностей в зависимости от трансформации задач.

2. Определение причин создания онтологии

Потребность в разработке онтологии может возникнуть по некоторым причинам. Рассматривается декларативная спецификация терминов ПрО, а также графическое представление (семантическая сеть), которые позволяют анализировать и получать знания в выбранной ПрО. Явные спецификации знаний в ПрО полезны для новых пользователей в процессе обучения. Онтология может являться семантической основой при создании ИС.

Онтология ПрО сама по себе не является целью, она позволяет решать задачи в выбранной ПрО или создавать инструментарий для решения поставленных задач. При разработке онтологии определяется набор данных и их структура для использования другими программами.

3. Рассмотрение вариантов повторного использования существующих онтологий

Перед началом разработки онтологии необходимо изучить и учесть наличие онтологий в выбранной ПрО. Если такие онтологии существуют, необходимо проверить возможность их использования или расширения. Повторное использование существующих онтологий может быть необходимым, если ИС нужно взаимодействовать с другими приложениями, которые уже вошли в отдельные онтологии.

4. Исследование ПрО и определение масштаба создаваемой онтологии

В процессе создания онтологии, в зависимости от трансформации задач границы ПрО (глобальные и локальные) и масштаб онтологии (количество сущностей и их экземпляры, содержащиеся в онтологии) могут быть изменены. На разных этапах проектирования онтологии выявленные границы и масштаб онтологий помогают ввести ограничения и придерживаться заданных параметров. Масштаб онтологии может быть также ограничен быстродействием и/или памятью устройства, на котором используется онтология.

5. Определение предполагаемых вариантов и сценариев использования

Необходимо предположить или точно определить варианты (в учебном процессе, на промышленном предприятии, в бизнесе и др.) и сценарий (учебный план, техническое задание, бизнес-процесс и др.) использования создаваемой онтологии, поскольку от него зависит:

– вид представления онтологии [7];

– определение целевой группы (пользователей и/или разработчиков);

– определение требований рабочей среды, языка онтологии.

Если онтология будет использоваться в качестве семантической основы для ИС, необходимо уточнить у разработчиков ИС, какой именно вид представления онтологии им потребуется. При использовании онтологии в учебном процессе необходимо продумать интуитивность и удобство поиска терминов и связей, а также визуальное представление онтологии.

6. Выбор онтологического редактора

С учетом ISO 15926 и Коммюнике онтологического Саммита [2; 3], которое отражает вопросы оценки онтологий в течение всего жизненного цикла и последние тенденции в области создания и поддержки

прикладных онтологий как основ при создании ИС, были выбраны критерии для сравнительного анализа онтологических редакторов, по которым для построения онтологий в ПрО ППАТ предлагается онтологический редактор Protégé [8].

7. Определение терминологической базы

Терминологическая база и методы её расширения могут изменяться как во время создания, так и во время использования онтологии, поэтому необходимо определить (учитывая актуальность публикаций и сценарий использования онтологии), какие материалы будут использованы при создании ПрО. Предлагается установить следующую последовательность использования источников информации при создании онтологии:

1. Государственные документы (авиационные правила [9], стандарты предприятия и т. п. в зависимости от выбранной ПрО).

2. Учебники, монографии и т. п. в соответствии с выбранной ПрО [10; 11].

3. Новые знания.

Под новыми знаниями подразумеваются вводимые в ПрО новые термины и понятия. Новые знания необходимы для развития онтологии и поддержания ее в актуальном состоянии. Они могут быть получены, в том числе, с помощью лингвистических методов обработки текстов из анализа частотности употребления терминов в текстах (журналы по выбранной тематике, труды конференций и т. д.).

8. Определение и соблюдение ведущего типа отношений между сущностями, построение онтологии и ее дополнение ассоциативными связями

Типы отношений в онтологиях определяются в соответствии с ГОСТ [1]. Перед включением в онтологию первой сущности необходимо выбрать тип отношений и соблюдать его при включении в онтологию всех последующих сущностей, т. е. на протяжении всего процесса создания онтологии во избежание смешения типов и ролей сущностей приводящего к ложным умозаключениям.

Выбор подхода для разработки иерархии классов в онтологии зависит от предпочтений разработчика и его способностей к операциям анализа, синтеза, абстрагирования, сравнения, обобщения, классификации и др. При создании онтологий в наукоемких ПрО, таких как ППАТ, практически невозможно использовать процессы нисходящей или восходящей разработки, из-за большого количества информации и трансформации задач на протяжении всего жизненного цикла онтологии, поэтому предлагается использовать комбинированный подход.

9. Корректировка масштаба онтологии

Выбранный масштаб онтологии на протяжении создания онтологии может изменяться. На последних этапах создания онтологии необходимо определить:

– достаточно ли сущностей в онтологии для того, чтобы использовать ее в соответствии с выбранным сценарием (определяется и корректируется после начала использования онтологии);

– есть ли необходимость расширения созданной или слияния нескольких онтологий (определяется и корректируется после начала использования онтологии);

– есть ли необходимость включения экземпляров классов (определяется и корректируется после начала использования онтологии).

10. Использование онтологии в соответствии с выбранным сценарием

После начала использования онтологии в ИС, для которой она создавалась, можно оценить ее качество. Например, если онтология используется в учебном процессе, предлагается провести опрос или собрать отзывы пользователей (преподавателей и студентов), с целью выявления достоинств и недостатков работы с созданной онтологией (удобство поиска, наличие запрашиваемых терминов, логичность установленных связей). При использовании онтологии на промышленном предприятии в качестве семантической основы при разработке ИС, предлагается провести сравнительную оценку качества работ до использования ИС на основе онтологии и после.

Заключение

На основании разработанной методики созданы:

1) тезаурус «Проектирование самолета», являющийся семантической основой разрабатываемой интеллектуальной ИС (робот-проектант) в исследуемой ПрО ППАТ [12];

2) базовая онтология машиностроительного предприятия для ИС производственного планирования [7].

Библиографический список

1. ГОСТ 7.25-2001 СИБИД. Тезаурус информационно-поисковый одноязычный. Правила разработки, структура, состав и форма представления [Электронный ресурс]. URL: http://www.znaytovar.ru/gost/2/GOST_7252001_SIBID_Tezaurus_in.html

2. Коммюнике онтологического саммита 2013 // Онтология проектирования. 2013. № 2 (8). URL: http://agora.guru.ru/scientific_journal/files/Ontology_Design_2_2012.pdf

3. Ontology Summit 2013 Extrinsic Aspects of Ontology Evaluation Community Input, 2013. URL: http://ontolog.cim3.net/cgi-bin/wiki.pl?ConferenceCall_2013_01_2

4. Лукашевич, Н. В. Тезаурусы в задачах информационного поиска / Н. В. Лукашевич. М. : Изд-во Моск. ун-та, 2011. 512 с.

5. Noy, N. F. Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology / N. F. Noy, D. L. McGuinness // Stanford Knowledge Systems Laboratory Technical Report KSL-01-05 and Stanford Medical Informatics Technical Report SMI-2001-0880, March 2001.

6. Шустова, Д. В. Разработка тезауруса прикладной онтологии / Д. В. Шустова // Аспирант. вестн. Поволжья. 2010. № 1–2. С. 109–111.

7. Шустова, Д. В. Подход к разработке семантических основ информационных систем для проектирования и производства авиационной техники / Д. В. Шустова // Онтология проектирования. 2015. № 1 (15). С. 70–84.

8. Protégé. URL: http://protege.stanford.edu

9. Авиационные правила. Ч. 25 : Нормы летной годности самолетов транспортной категории [Электронный ресурс]. URL: http://meganorm.ru/Index2/1/4293795/4293795750.htm

10. Орлов, П. И. Основы конструирования : справ.-метод. пособие : в 3 кн. / П. И. Орлов. М. : Машиностроение, 1988. 560 с.

11. Gruber, T. A translation approach to portable ontology specifications / T. Gruber // Knowledge Acquisition. 1993. Vol. 5. P. 199–220.

12. Боргест, Н. М. Робот-проектант: фантазия и реальность / Н. М. Боргест, А. А. Громов, А. А. Громов, Р. Х. Морено, М. Д. Коровин, Д. В. Шустова [и др.] // Онтология проектирования. 2012. № 4 (6). С. 73–94.

Сведения об авторе

Шустова Дина Владимировна — аспирант кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). ShustovaDV@yandex.ru

---

D. V. Shustova

METHODS OF ONTOLOGY CREATION FOR INFORMATIONAL SYSTEMS DESIGN ON EXAMPLE OF "AIRCRAFT DESIGN AND MANUFACTURING" DOMAIN

The article describes a method for creation of ontologies in the "Aircraft design and manufacturing" domain. The dsesigbned ontologies serve as semantic bases for creation of informational systems. The proposed method contains rules and principles of ontology design with pecularities of concepts and relations in the "Aircraft design and manufacturing" domain.

ББК Ч424
УДК 371.21

Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, М. М. Гаянова, А. В. Климова

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО МАРШРУТА

Рассматриваются вопросы использования методов экспертных оценок. Предложен адаптированный метод экспертного оценивания для подзадач формирования образовательного маршрута при помощи методов коллективного оценивания с последующей оценкой согласованности экспертов.

Введение. Процесс формирования образовательного маршрута в рамках академической мобильности характеризуется наличием больших объемов слабоструктурированной информации, требующих значительных временных затрат на её обработку. В частности, возникает необходимость проведения сопоставительного анализа с целью выявления семантического сходства двух компетенций или дисциплин. До перехода на компетентностный подход в образовании авторами проводились исследования в области сопоставительного анализа наименований дисциплин, разработаны алгоритмы их сопоставления [1]. Позднее авторами были разработаны алгоритмы, обеспечивающие проведение автоматического сопоставительного анализа на основе полного сходства формулировки компетенций путем перебора всех слов, а также предусматривалось использование словаря схожих слов [2; 3]. Полученные результаты использования алгоритмов приведены в [4]. Однако все перечисленные алгоритмы также предусматривали участие эксперта для тех компетенций (наименований дисциплин), когда автоматическое сопоставление невозможно. Участие эксперта предполагает также подзадача соотнесения наименования дисциплины и компетенций, которые обучающийся может освоить при изучении дисциплины.

Поэтому в данной статье рассмотрены вопросы использования методов экспертных оценок при формировании образовательного маршрута. Было предложено адаптировать метод коллективного оценивания для подзадач сопоставления компетентностных моделей выпускника и соотнесения компетенций и дисциплин. В качестве способов оценки вариантов предлагается использовать метод парного сравнения для упорядочивания вариантов по степени важности и ранжирование для выбора наиболее существенного фактора. Также описывается проведение последующей оценки согласованности мнений экспертов при помощи коэффициента конкордации, приведены примеры их использования.

Адаптация метода экспертных оценок к задаче соотнесения компетенций и дисциплин при формировании образовательного маршрута. На первом этапе перед определением экспертной оценки формируется рабочая группа экспертов со средним уровнем компетентности, удовлетворяющим условию $0{,}67 \le M \le 1{,}00$. Значение среднего уровня компетентности $M = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} K_j$, где K_j — уровень компетентности j-го эксперта, m — количество экспертов в составе рабочей группы. Уровень компетентности (K_j) j-го эксперта оценивается выражением $K_j = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{5} K_{ij}$, содержащим пять обобщенных показателей K_{ij} $(0 \le K_{ij} \le 1)$: профессиональная подготовленность, стаж и опыт работы; уровень информированности в сфере научных публикаций; стремление к профессиональному росту, умение работать в коллективе, а также дисциплинированность и организованность на основе самооценки; личные качества эксперта, данные ему коллегами-экспертами; уровень согласованности действий эксперта с членами формируемой рабочей группы при выполнении тестового задания. После чего вычисляют уровень компетентности эксперта K_j. Число экспертов рабочей группы должно быть не меньше числа сравниваемых вариантов и не должно превышать 10 человек. По окончании формирования рабочей группы проводится оценка уровня компетентности рабочей группы.

Рассмотрим случай перевода студента из базового вуза в принимающий вуз, с одного направления на другое, когда решается подзадача соотнесения компетенций. Дисциплина направления, с которого переводится студент, и две (и более) дисциплин направления, на которое переводится студент, обладают одинаковым набором компетенций. Дисциплины имеют разные названия. Необходимо оценить значимость каждой из дисциплин направления, на которое переводится студент, относительно другой для выбора наиболее подходящей дисциплины для перезачета. Оценка производится экспертами, которым предоставляется дополнительная информация о студенте (академическая справка, информация о базовом вузе) и информация о дисциплинах принимающего вуза (ФГОС, рабочие программы).

Пусть имеются дисциплины направления подготовки 231000.62 «Программная инженерия», а именно «Математическая логика и теория алгоритмов», «Теория автоматов и формальных языков», «Теория вероятностей и математическая статистика» (рисунок) характеризуются одинаковым набором компетенций:

Дисциплина	Процент изученных компетенций	внести в ведомость
Теория автоматов и формальных языков	100	☐
Математическая логика и теория алгоритмов	100	☐
Теория вероятностей и математическая статистика	100	☐

Дисциплины направления 231000.62 «Программная инженерия» с одинаковым набором компетенций

«ПК2 — способность к формализации в своей предметной области с учетом ограничений используемых методов исследования», «ПК3 — готовность к использованию методов и инструментальных средств исследования объектов профессиональной деятельности», «ПК12 — навыки моделирования, анализа и использования формальных методов конструирования программного обеспечения», «ПК13 — способность оценивать временную и емкостную сложность ПО».

Группа экспертов из 6 человек оценивается по перечисленным показателям (табл. 1). В качестве экспертов выступают специалисты, занимающиеся разработкой учебных планов по направлению «информатика и вычислительная техника».

По результатам выводится комплексная оценка, проводится ранжирование и формируется необходимая группа из четырех экспертов. Средний уровень компетентности $M = 0{,}875$, что соответствует условию $0{,}67 \le M \le 1{,}00$.

На втором этапе для проведения сравнения и ранжирования вариантов, предложенных экспертам, используется парное сравнение вариантов, т. е. упорядочивание этих вариантов по степени важности, задаются правила использования экспертами стандартизированной ранговой системы и проводится опрос экспертов (табл. 2).

Таблица 1

Оценка уровня компетентности экспертов

Показатель	Оценка уровня компетентности экспертов					
	$Э_1$	$Э_2$	$Э_3$	$Э_4$	$Э_5$	$Э_6$
K_{1j}	1	1	0,8	0,7	0,5	0,6
K_{2j}	1	1	0,7	0,7	0,6	0,7
K_{3j}	1	1	0,8	0,7	0,6	0,6
K_{4j}	1	1	0,8	0,75	0,7	0,6
K_{5j}	1	1	0,9	0,65	0,6	0,5
K_{61j}	1	1	0,8	0,7	0,6	0,6

Варианту, который занимает первое место, эксперт должен присвоить ранг, равный единице, за второе место — ранг, равный двум и т. д. Если варианты у эксперта равноценны, то их называют связанные и они должны иметь у этого эксперта одинаковый ранг. Численное значение ранга варианта, входящего в состав связанных вариантов, представляет собой среднее значение суммы мест этих вариантов в ранговой системе эксперта. Вычисление ранга связанных вариантов ($r_{св}$) эксперт выполняет по следующей формуле: $r_{св} = L + (h + 1) / 2$, где L — число вариантов, более предпочтительных, чем группа связанных вариантов; h — число связанных вариантов. Сумма рангов ($r_{эj}$), которую каждый j-й эксперт присваивает всем сравниваемым вариантам в стандартизированной ранговой системе, определяется выражением $r_{эj} = \sum_{i=1}^{n} r_{ij} = \frac{n(n+1)}{2}$. для определения суммарного ранга (r_i) i-го варианта используется простое суммирование рангов этого варианта, которые дали ему все эксперты $r_i = \sum_{j=1}^{m} r_{ij}$, где r_{ij} — ранг i-го варианта, который присвоил ему j-й эксперт ($i = 1, n$), ($j = 1, m$); n — количество сравниваемых вариантов; m — количество экспертов в составе рабочей группы.

Суммарный средний ранг всех сравниваемых вариантов (r_i) для стандартизированной ранговой системы определяется из следующего выражения:

Таблица 2

Результаты ранжирования вариантов экспертами рабочей группы

Код варианта	Ранговые оценки варианта экспертами						r_j	$(r_j - r)$	$(r_j - r)^2$
	$Э_1$	$Э_2$	.....	$Э_j$	....	$Э_m$			
x_1	r_{11}	r_{12}	.....	r_{1j}	....	r_{1m}	r_1	$(r_1 - r)$	$(r_1 - r)^2$
x_2	r_{21}	r_{22}	.....	r_{2j}	....	r_{2m}	r_2	$(r_2 - r)$	$(r_2 - r)^2$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
x_i	r_{i1}	r_{i2}	.....	r_{ij}	....	r_{im}	r_i	$(r_i - r)$	$(r_i - r)^2$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
x_n	r_{n1}	r_{n2}	.....	r_{nj}	....	r_{nm}	r_n	$(r_n - r)$	$(r_n - r)^2$

$$r = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} r_{ij} = \frac{(n+1)m}{2}.$$

Значение $(r_i - r)^2$ — это квадрат отклонения суммарного среднего ранга i-го варианта от суммарного среднего ранга всех вариантов. Величина S — сумма квадратов отклонений суммарных рангов каждого из вариантов от суммарного среднего ранга всех вариантов — определяется из следующего выражения:

$$S = \sum_{i=1}^{n}\left(r_i - r\right)^2.$$

В табл. 3 представлены результаты ранжирования дисциплин направления 231000.62 «Программная инженерия» с одинаковым набором компетенций.

На третьем этапе проводится расчет весовых коэффициентов ранговых оценок экспертов. Весовые коэффициенты (a_j^*) рассчитываются с учетом уровня компетентности экспертов (K_j) по формуле

$$a_j^* = \frac{K_j}{\sum_{j=1}^{m} K_j}.$$

Тогда, с учетом весовых коэффициентов, скорректированные значения рангов вариантов (r_{ij}^*), по сравнению с теми значениями, которые первоначально присвоили им эксперты (r_{ij}), вычисляют по формуле $r_{ij}^* = a_j^* \cdot m \cdot r_{ij}$. Если эксперты имеют одинаковые весовые коэффициенты ранговых оценок, то $a_j = 1/m$ и $r_{ij}^* = r_{ij}$. При этом для стандартизированной ранговой системы, для средних значений рангов всех вариантов, выполняется условие $r^* = r$.

Для оценки согласованности мнений экспертов по нескольким факторам используется коэффициент конкордации W. В роли факторов выступают дисциплины, чьи наборы компетенций полностью совпали. Экспертам предлагается провести ранжирование n дисциплин в порядке от 1 до n.

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)},$$

где m — число экспертов в группе, n — число факторов (дисциплин), S — сумма квадратов разностей рангов (отклонений от среднего).

$$S = \sum_{i=1}^{n}\left(\sum_{j=1}^{m} R_{ij}\right)^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} R_{ij}\right)^2}{n},$$

где R_{ij} — место, которое заняло i свойство в ранжировке j-м экспертом.

Коэффициент конкордации для нашего случая $W = \frac{12 \cdot 24}{4^2\left(3^3 - 3\right)} = 0,75$. Оценка значимости коэффициента конкордации проводится по критерию $\chi^2 = 4 \cdot (3 - 1) \cdot 0,75 = 6$. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $u = 3 - 1 = 2$ значение критерия $\chi_T^2 = 6,0$, откуда $\chi^2 = \chi_T^2$. ЛПР такой результат не устраивает, поэтому необходимо более согласованное решение экспертов. Для получения более согласованного решения используется процедура задания весовых коэффициентов ранговых оценок экспертов:

$$a_1^* = 0,2857143,\ a_2^* = 0,2857143,$$
$$a_3^* = 0,2285714,\ a_4^* = 0,2.$$

Коэффициент конкордации равен $W = 0,7502041$.

Оценка значимости коэффициента конкордации проводится по критерию χ^2. Расчетное значение критерия χ^2 определяется по следующему выражению $\chi^2 = m(n - 1)W$. Табличное значение критерия χ_T^2 определяется обычно при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $u = n - 1$.

Если $\chi^2 > \chi_T^2$, т. е. расчетное значение больше табличного, то с вероятностью 95 % можно утверждать, что мнения экспертов рабочей группы являются вполне согласованными, если $\chi^2 < \chi_T^2$, то мнения экспертов не являются согласованными.

Если уровень согласованности мнений экспертов удовлетворяет критерию χ^2 и ранжирование проведено корректно, ЛПР выбирает среди всех вариантов, расположенных по степени их предпочтения экспертами, наилучший, согласно формуле

Таблица 3

Результаты ранжирования дисциплин экспертами рабочей группы

Дисциплина	Ранговые оценки экспертов				r_j	$(r_j - r)$	$(r_j - r)^2$
	1	2	3	4			
Теория автоматов и формальных языков	1	2	1	2	6	–2	4
Математическая логика и теория алгоритмов	2	1	2	1	6	–2	4
Теория вероятностей и математическая статистика	3	3	3	3	12	4	16
Сумма	6	6	6	6			24

Таблица 4

Скорректированные результаты ранжирования вариантов экспертами рабочей группы с учетом коэффициентов a_j^*

Дисциплина	Ранговые оценки экспертов				r_j	$(r_j - r)$	$(r_j - r)^2$
	1	2	3	4			
Теория автоматов и формальных языков	1,1428571	2,285714	0,914286	1,6	5,942857	–2,05714	4,231837
Математическая логика и теория алгоритмов	2,2857143	1,142857	1,828571	0,8	6,057143	–1,94286	3,774694
Теория вероятностей и математическая статистика	3,4285714	3,428571	2,742857	2,4	12	4	16
Сумма							24,00653

$$r_k = \min r_i,$$

где r_i — суммарный ранг i-го варианта, данный ему всеми экспертами $(i = 1, n)$ [5].

Результат оценки значимости коэффициента конкордации для дисциплин по направлению 231000.62 «Программная инженерия» по критерию $\chi^2 = 4 \times \times (3 - 1) \cdot 0{,}7502041 = 6{,}0016327$. При уровне значимости $\alpha = 0{,}05$ и числе степеней свободы $u = 3 - 1 = 2$ значение критерия $\chi_T^2 = 6{,}0$, откуда $\chi^2 > \chi_T^2$. Уровень согласованности экспертов в данном случае устраивает ЛПР, следовательно, получаем ранжирование по предпочтительности: «Теория автоматов и формальных языков», «Математическая логика и теория алгоритмов», «Теория вероятностей и математическая статистика».

Заключение

В условиях больших информационных потоков, их разнородной структуры, лицам, принимающим решение, необходима поддержка для полного анализа предметной деятельности в сложных условиях при формировании образовательного маршрута. Это обусловливает создание автоматизированной системы поддержки принятия решений, однако существуют случаи, когда необходимо участие эксперта.

Предложенный метод экспертных оценок позволяет ЛПР принимать обоснованные решения при формировании образовательного маршрута студента, в частности, при выборе наиболее подходящей дисциплины для перезачета.

Библиографический список

1. Гаянова, М. М. Информационная поддержка принятия решений при анализе университетских образовательных программ : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.10 / Гаянова Майя Марсовна. Уфа. 2006. 16 с.
2. Климова, А. В. Алгоритмическая поддержка для выбора дисциплин при формировании документов в рамках академической мобильности студента / А. В. Климова // Вестн. УГАТУ. 2014. Т. 18, № 5 (66). С. 177–180.
3. Сметанина, О. Н. О методе отбора дисциплин при планировании академической мобильности / О. Н. Сметанина, А. В. Климова, Р. Р. Ахметвалеев // Proceedings of the 16th Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2014), Sheffield, England, September 17−22, 2014. Vol. 1. Ufa : State Aviation Technical University, 2014. P. 185–189.
4. Юсупова, Н. И. О результатах моделирования процесса управления образовательным маршрутом на основе СППР / Н. И. Юсупова, О. Н. Сметанина, А. В. Климова, А. А. Климов // Information Technologies for Intelligent Decision Making Support : Proceedings of the 3rd International Conference, May 18–21, 2015. Ufa, 2015. P. 145–151.
5. Постников, В. М. Подход к увеличению уровня согласованности мнений экспертов при выборе варианта развития системы обработки информации / В. М. Постников, С. Б. Спиридонов // Наука и образование. 2013. № 6. С. 333–350.

Сведения об авторах

Юсупова Нафиса Исламовна — доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой вычислительной математики и кибернетики, декан факультета информатики и робототехники Уфимского государственного авиационного технического университета.

Сметанина Ольга Николаевна — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. smoljushka@mail.ru

Гаянова Майя Марсовна — кандидат технических наук, доцент Уфимского государственного авиационного технического университета.

Климова Александра Вадимовна — старший преподаватель Уфимского государственного авиационного технического университета. alex.melnikova.ufa@gmail.com

N. I. Yusupova, O. N. Smetanina, M. M. Gayanova, A. V. Klimova

ABOUT USING OF EXPERT EVALUATION METHOD WHEN THE FORMATION OF EDUCATIONAL ROUTE

The article considers use of methods of expert estimates and offered to adapt the method of expert estimation for the subtasks of formation of educational route using the methods of evaluation, followed by a collective assessment of the consistency of experts.

ББК Ж607-05
УДК 672

К. Б. Ахуньянова

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ НА СВОЙСТВА ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ИНТЕРВАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

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

Исследуется влияние структурных решений на свойства параметров модели при интервальном оценивании показателей надежности технических изделий. Рассматриваются логические структурные схемы, состоящие из последовательно и параллельно соединенных элементов. Основу исследований составляет статистический эксперимент.

Одной из задач управления надежностью аппаратных компонентов АПК является выбор структуры изделия и назначение требований к характеристикам надежности комплектующих элементов. В связи с этим важно разрабатывать методы, позволяющие анализировать влияние структурных решений и свойств интервальных оценок показателей надежности комплектующих элементов на статистические характеристики показателей надежности изделий.

Необходимость интервального оценивания показателей состояния сложных систем обосновывается в работах [1; 2 и др.].

Возможность использования теории полного факторного эксперимента для исследования влияния логической структуры системы и свойств элементов на статистические характеристики надежности изделий обосновано соответствием свойств статистического эксперимента требованиям, определяемым в [3]. 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 представлены в [3].

В паспортных данных на комплектующие элементы не приводится сведений о возможном разбросе характеристик надежности. Величина возможного разброса оценивается по данным испытаний выделенной для этого группы из N элементов. Случайный характер выборки $x_1, \ldots, x_N$, а также ее малый объем являются причиной того, что значения интервала, в котором могут изменяться с заданной доверительной вероятностью β значения характеристик надежности элемента, также являются случайным. Следовательно, параметры полиномиальной модели, определяемые при случайных значениях $P_{\text{н,без}}$ и Δ, также являются случайными.

Целью исследования является анализ влияния структурных решений и свойств интервальных оценок показателей надежности комплектующих элементов на свойства параметров полиномиальной модели.

Влияние структурных решений на свойства параметров модели устанавливается путем определения значимых коэффициентов полученной полиномиальной модели на основе полного факторного эксперимента по методике воспроизводимых опытов, описанной в [4]. В рамках проводившихся исследований рассматривались два вида логических структур системы, состоящих из двух последовательно либо параллельно соединенных элементов. Полиномиальная модель для такого вида систем выглядит следующим образом:

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

В паспортных данных на элементы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) приводятся средние значения показателей надежности (в виде среднего времени наработки до отказа; интенсивности отказов; вероятности безотказной работы за определенное время), по которым можно определить $P_{\text{н,без}}$. Для определения границ Δ, в пределах которых с заданной доверительной вероятностью β может изменяться $P_{\text{н,без}}$, проводится статистический эксперимент по следующей схеме:

Шаг 1. Для показательного закона распределения наработки до отказа

$$F_{(x)}^{(T)} = 1 - e^{-\lambda_T x} \tag{1}$$

при задании значения λ_T генерируются определенное число K раз выборки $x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \ldots, x_N^{(k)}$, ($k = \overline{1, K}$). В ходе исследований N принимается равным 20, $K = 3$.

Шаг 2. По выборке $x_1^{(k)}, x_2^{(k)}, \ldots, x_N^{(k)}$ при фиксированном значении k определяется оценка параметра

$$\hat{\lambda}^{(k)} = \frac{N}{\sum_{i=1}^{N} x_i^{(k)}}, \tag{2}$$

по которой в соответствии с (1) строится оценка функции распределения $\hat{F}^{(k)}(x)$.

Шаг 3. По полученной оценке $\hat{F}^{(k)}(x)$ методом обратных преобразований [5] в соответствии с рекомендациями, изложенными в [3], заданное число η раз генерируются выборки $x_1^{(k),(j)}, x_2^{(k),(j)}, \ldots, x_N^{(k),(j)}$, $j = \overline{1, \eta}$..

Шаг 4. По каждой из выборок $\{x^{(k)(j)}\}_1^N$ в соответствии с (1) строятся оценки $\hat{F}^{(k),(j)}(x)$.

Шаг 5. По совокупности оценок $\hat{F}^{(k),(j)}(x)$, строятся огибающие, на основании которых определяются значения $\Delta^{(k)}_{(x_{зад})}$, соответствующие значению $x_{зад}$, определяемому из соотношения $F^{(1)}(x_{зад}) = 0{,}9$.

В ходе исследований η принимается равным 50, что соответствует β = 95 %-й доверительной вероятности нахождения $F^{(T)}(x)$ в границах $\hat{F}^{(В)}(x), \hat{F}^{(Н)}(x)$.

Доверительный интервал 2 $\Delta^{(в)}_{(x_{зад})}$совпадает с интервалом, соответствующим закону распределения времени безотказной работы $Q(x) = 1 - F(x)$.

Вероятность безотказной работы $P_{н,без}$, равная 0,9, и полученные в ходе проведения статистического эксперимента $\Delta^{(k)}_{(x_{зад})}$ ($k = \overline{1,3}$) составляют основу оценивания значимости параметров полиномиальной модели по результатам воспроизводимых опытов. Методика оценивания применительно к полному факторному эксперименту описана в [3].

План эксперимента и результаты опытов для схем с последовательным и параллельным соединением элементов для исходных данных, указанных в описанном выше алгоритме, приведены в табл. 1.

1. Оценка дисперсий среднего арифметического в каждой строке плана эксперимента производится по формуле

$$\bar{s}_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{q}(y_j - \bar{y}_i)^2}{q(q-1)},$$

где y_{ij} — результат отдельного опыта, $\bar{y}_i$ — среднее значение отклика по повторным опытам, q — количество параллельных опытов, j — номер параллельного опыта.

Результаты вычислений, полученные на данном этапе, представлены в табл. 2.

2. Производится проверка однородности дисперсий с помощью критерия Кохрена, определяемого соотношением

$$G = \bar{s}^2_{i\max} / \sum_{i=1}^{N} \bar{s}_i^2 .$$

Экспериментальное значение критерия Кохрена для последовательного соединения элементов равно 0,539, для параллельного — 0,733. Поскольку при заданном числе воспроизводимых опытов экспериментальное значение не превышает табличного значения, равного 0,768 [4], можно сделать заключение, что гипотеза об однородности дисперсий не противоречит опытным данным.

3. Рассчитывается оценка усредненной дисперсии воспроизводимости $s^2_{\{\bar{y}\}}$ по формуле [4].

4. Вычисляются коэффициенты регрессии по правилу [4].

Для схемы с последовательным соединением получаем

$$b_0 = 0{,}81,\ b_1 = 0{,}031,\ b_2 = 0{,}031,\ b_{12} = 0{,}0012.$$

Для схемы с параллельным соединением получаем

$$b_0 = 0{,}99,\ b_1 = 0{,}0034,\ b_2 = 0{,}0034,\ b_{12} = -0{,}0012$$

5. Производится проверка гипотезы об адекватности модели, основанная на расчетах дисперсии адекватности и критерия Фишера:

$$s^2_{ад} = \sum_{i=1}^{N}(\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 / f,$$

где $f = N - p$, $F = s^2_{ад} / s^2_{\{\bar{y}\}}$.

Здесь $\hat{y}_i$ — рассчитанное по уравнению регрессии значение отклика, f — число степеней свободы равное, связанное с дисперсией адекватности, p — число оцениваемых коэффициентов.

Экспериментальная величина F-критерия не превышает табличного значения как для схемы с последовательным соединением элементов, так и для схемы с параллельным соединением элементов. Следовательно, гипотеза об адекватности модели не противоречит опытным данным.

Таблица 1

План эксперимента и результаты опытов

Номер опыта, N	Фактор				Отклик			
	x_0	x_1	x_2	x_{12}	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}$
Последовательное соединение								
1	+1	–1	–1	+1	0,739	0,754	0,755	0,749
2	+1	+1	–1	–1	0,808	0,809	0,809	0,809
3	+1	–1	+1	–1	0,808	0,809	0,809	0,809
4	+1	+1	+1	+1	0,884	0,867	0,867	0,872
Параллельное соединение								
1	+1	–1	–1	+1	0,98	0,983	0,983	0,982
2	+1	+1	–1	–1	0,992	0,991	0,991	0,991
3	+1	–1	+1	–1	0,992	0,991	0,991	0,991
4	+1	+1	+1	+1	0,996	0,995	0,995	0,995

Таблица 2

Дисперсии среднего арифметического

Номер опыта, N	$\bar{s}_i^2$ для последовательного соединения	$\bar{s}_i^2$ для параллельного соединения
1	$2{,}59 \cdot 10^{-5}$	$6{,}39 \cdot 10^{-7}$
2	$4{,}43 \cdot 10^{-8}$	$4{,}43 \cdot 10^{-8}$
3	$4{,}43 \cdot 10^{-8}$	$4{,}43 \cdot 10^{-8}$
4	$3{,}04 \cdot 10^{-5}$	$1{,}43 \cdot 10^{-7}$

6. Проводится проверка значимости коэффициентов регрессии. Для этого рассчитывается доверительный интервал $\Delta b_j = \pm t s_{\{b\}}$, $s_{\{b\}}^2 = s_{\{\bar{y}\}}^2 / N$, где t — критерий Стьюдента, имеющий то же число степеней свободы, что и дисперсия воспроизводимости. В нашем случае t = 2,77 [4], $s_{\{b\}}^2$ для схемы с последовательным соединением элементов равно 0,018, Δb_j = ±0,0052; с параллельным соединением элементов — 0,0002, Δb_j = ±0,00064.

Коэффициент является значимым, если его абсолютная величина оказывается больше доверительного интервала.

Таким образом, оставляя только значимые коэффициенты регрессии, получаем:

Для схемы с двумя последовательно соединенными элементами модель имеет вид

$$\hat{y} = 0{,}81 + 0{,}031x_1 + 0{,}031x_2.$$

Для схемы с двумя параллельно соединенными элементами модель имеет вид

$$\hat{y} = 0{,}99 + 0{,}0034x_1 + 0{,}0034x_2 - 0{,}0012x_1x_2.$$

После исключения из модели для схемы с последовательно соединенными элементами незначимого коэффициента вновь проводится проверка адекватности модели. В результате проверки делается заключение, что гипотеза об адекватности модели не отвергается.

Важным этапом при статистическом анализе значимости коэффициентов математической модели является ее интерпретация в терминах объекта исследования.

В [4] отмечается, что смысл эффекта взаимодействия (коэффициент a_{12}) состоит в том, что влияние одного фактора зависит от того, на каком уровне находится другой фактор. Система, состоящая из двух последовательно соединенных элементов, функционирует только тогда, когда в работоспособном состоянии находятся оба элемента. При отказе одного из них все изделие прекращает свою работу. Эффекта взаимодействия не возникает.

В случае с параллельно соединенными элементами система находится в работоспособном состоянии при работе хотя бы одного из элементов, то есть, в терминах теории планирования эксперимента, влияние одного фактора зависит от того, на каком уровне находится другой фактор. При отказе одного из элементов нагрузка на второй увеличивается, но система продолжает работать.

Библиографический список

1. Трусов, П. В. Введение в математическое моделирование / П. В. Трусов. М. : Логос, 2004. 440 с.
2. Макконнел, С. Сколько стоит программный проект / С. Макконнелл. М. : Рус. ред. ; СПб. : Питер, 2007. 297 с.
3. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. М. : Наука, 1976. 278 с.
4. Адлер, Ю. П. Теория планирования эксперимента: прошлое, настоящее, будущее / Ю. П. Адлер, Ю. В. Грановский, Е. В. Маркова. М. : Знание, 1982. 61 с.
5. Соболь, И. М. Численные методы Монте-Карло / И. М. Соболь. М. : Наука, 1973. 311 с.

Сведения об авторе

Ахуньянова Ксения Борисовна — аспирант кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. akhunyanova.k@gmail.com

---

K. B. Akhunyanova

THE IMPACT OF STRUCTURAL SOLUTIONS TO CHARACTERISTICS OF MODEL PARAMETERS OF INTERVAL ESTIMATION RELIABILITY OF TECHNICAL PRODUCTS

This paper explores the impact of the structural properties of the solutions of the model parameters in the interval estimation of parameters of reliability of technical products. We consider the structural logic circuit consisting of series and parallel connected elements. The basis of the research is a statistical experiment.

ББК З381
УДК 007

А. П. Бельтюков

ПОНИМАНИЕ ЗАДАЧ ИНФОРМАТИКИ В УСЛОВИЯХ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Рассматривается новый подход к пониманию постановок задач информатики, выраженных в виде логических формул. Новое понимание логически проще традиционной реализуемости (в смысле кванторной глубины), но является также естественным с точки зрения алгоритмического решения задач и традиционных конструктивных рассуждений. Это понимание, кроме свидетельства (подтверждения, реализации) понимаемой формулы, привлекает понятия теста (противодействия, опровержения) этой реализации на данной формуле. При практическом применении рассматриваемого подхода облегчается анализ возможных ошибок в постановках и решениях задач.

Введение

При использовании логических формул в качестве постановок задач построения объектов информатики обычно применяется конструктивное понимание, при котором классическая истинность формул уступает место наличию у них реализации (свидетельства или подтверждения) [1–3]. Оно логически является более простым, чем классическое дескриптивное понимание: конструктивное понимание имеет дело только с конструктивными объектами, которые можно описать конечными цепочками символов. Тем не менее такое традиционное конструктивное понимание всё ещё далеко от понимания, выраженного через непосредственно проверяемые утверждения: утверждение о том, что какой-то объект является реализацией данной формулы (то есть решением данной задачи), для некоторых формул обладает слишком большой логической сложностью, связанной с большой вложенностью кванторов всеобщности и импликаций. Это остаётся так, даже если прибегнуть к вычислениям ограниченной сложности. Из-за этого проверка и понимание того, решена ли задача, затруднены.

Чтобы преодолеть этот недостаток, в настоящей работе мы строим вариант конструктивного понимания формул, согласованного с общепринятыми способами рассуждений, при котором используются непосредственно проверяемые утверждения с простым префиксом вида «Существуют такие ..., что для любых ... выполнено ...».

Оказывается, что для этого достаточно рассмотреть реализации (подтверждения, свидетельства) формул в условиях противодействия. Под противодействием можно понимать попытку опровержения или тестирование этих реализаций на предмет выявления в них ошибок. Такой подход хорошо согласуется с требованиями практики, когда конструктивная реализация формулы используется как решение алгоритмической задачи, выраженной этой формулой. Тогда правильная реализация должна выдержать проверку (тестирование) своим практическим использованием, не проявив при этом никаких ошибок. Более глубокое понимание истинности при таком практическом подходе не требуется.

Настоящая работа — продолжение работ автора [6–9].

1. Синтаксис формул

Будем рассматривать логические формулы, вид которых определён грамматикой:

<formula>::= <predicate> (<term>,... <term>)
| (<formula> <connective> <formula>)
| <quantifier> <variable> <formula>

<term> ::= <variable> | <constant>
<connective> ::= & | ∨ | ⇒
<quantifier> ::= ∀ | ∃,

где <predicate>, <variable>, <constant> — непересекающиеся множества имён предикатов, предметных переменных и констант соответственно.

Заметим, что рассматриваемый язык позитивен: в нём нет отрицаний. При желании отрицание формулы B выражается импликацией вида

$$(B \Rightarrow \text{Error}),$$

где Error — некоторая стандартная ложная формула.

Позитивность языка согласуется с требованиями практики, когда при работе построенных объектов в некорректных условиях нельзя допускать общего краха системы, который часто возникает из-за того, что какие-то ситуации вообще не были предусмотрены, так как сама их возможность отрицалась в постановке задачи.

2. Типы значений

Для интерпретации формул введём понятия значений и их типов. Запись $t{:}T$ будет означать, что значение t имеет тип T. Исходные типы значений:

L — логический тип, состоящий из двух значений: 0 и 1;

U — универсум (значения переменных в формулах);

TP — тип реализаций (свидетельств, подтверждений) атомарных формул с предикатом P (то, что можно предъявить в качестве обоснования формул вида $P(c)$, например, утверждение об изоморфности графов подтверждается соответствием между их вершинами);

TP' — тип противодействий (опровержений) атомарным формулам с предикатом P (то, что можно

предъявить для отвержения предъявленной реализации, например, в случае с утверждением об изоморфности можно указать на вершины, соответствие между которыми нарушает требования, предъявляемые к изоморфизму).

Производные типы значений определяются следующим образом. Если мы уже имеем типы значений B и C, то определим также следующие типы:

$$(B \,\&\, C) = \{(b, c) \mid b{:}B,\ c{:}C\},$$

$$(B \vee C) = \{(i, b) \mid (i{=}0 \,\&\, b{:}C) \vee (i{=}1 \,\&\, c{:}C)\},$$

$(B \Rightarrow C)$ — функции с областью определения B и множествами значений из C. Типы аргументов многоместных функций при этом соединяются операцией &. Например, тип двухместной функции с аргументами типов B и C и значениями типа D определяется выражением

$$((B \,\&\, C) \Rightarrow D).$$

Далее будем рассматривать только алгоритмически заданные функции. Более того, можно ограничиться алгоритмами из какого-либо субрекурсивного класса, например, алгоритмами, время работы которых ограничено многочленом от длины записи исходных данных.

При рассмотрении алгоритмов, определённых на объектах, содержащих функции, можно считать, что эти алгоритмы задаются в виде алгоритмов с оракулами (см, например, [4]), в качестве которых используются данные функции. Если эти функции, в свою очередь, также имеют функциональные аргументы, то в качестве таковых можно этим оракулам также задавать алгоритмы, которые также могут иметь свои оракулы, и так далее (до глубины левой вложенности операции $\Rightarrow$ в определении типа).

При этом нетрудно выдерживать сложностные ограничения рассматриваемого субрекурсивного класса, например, указанную выше полиномиальную ограниченность времени работы (с оракулом, если это необходимо).

При таких условиях рассматриваемый класс функционалов обладает следующими «хорошими» свойствами замкнутости:

А. Замкнутость относительно подстановок

Если функция f определяется формулой

$$f(x) = e,$$

где x — кортеж переменных, а e — выражение, составленное из констант, операции построения упорядоченной пары (u, w), применений имён функций нашего класса и переменных из x, типы которых естественным образом согласованы с типами используемых функций, то f также принадлежит нашему классу и имеет соответствующий тип.

Простой пример — определение f суперпозицией g и h:

$$f(x) = g(h(x)).$$

Здесь в качестве x можно брать не только кортежи переменных, но и более сложные конструкции из переменных, операции пары и констант 0 и 1. В последнем случае необходимо задать не одно равенство $f(x) = e$, а несколько равенств, исчерпывающих все комбинации 0 и 1, для обеспечения полноты определения f. Все эти равенства должны быть согласованы по типам переменных и функций. Например, определение

$$f(0, x) = g(x),$$

$$f(1, x) = h(x)$$

задаёт функцию f типа

$$((B \vee C) \Rightarrow D),$$

если функция g имеет тип $(B \Rightarrow D)$, а функция h имеет тип $(C \Rightarrow D)$.

Б. Ламбда-замкнутость

Если функция f принадлежит нашему классу, то нашему классу также принадлежит и функция g, определяемая равенствами

$$g(x) = h{:}\ h(y) = f(x, y),$$

где x, y — кортежи переменных. Тип функции f определяется так, чтобы в приведённых здесь выражениях типы аргументов функций были согласованы. Например, если f имеет тип $((B\&C) \Rightarrow D)$, то определение

$$g(x) = h{:}\ h(y) = f(x, y)$$

задаёт функцию g типа

$$(B \Rightarrow (C \Rightarrow D)).$$

На самом деле для дальнейших рассмотрений достаточно потребовать только эти два свойства замкнутости, а не рассматривать все детали алгоритмических определений.

3. Типы реализаций и противодействий формул

Для каждой формулы B определяются два типа сопровождающих её объектов:

– $T(B)$ — тип возможных реализаций (свидетельств, подтверждений) формулы B;

– $T'(B)'$ — тип возможных противодействий (опровержений, тестов) формулы B.

Эти типы определяются следующими равенствами.

Типы реализации атомарной формулы и её теста определяются интерпретацией. Записывать их будем следующим образом:

$$T(P(c)) = TP,$$

$$T(P(c)' = TP'.$$

Конъюнкция реализуется и тестируется по частям:

$$T(B \,\&\, C) = (T(B) \,\&\, T(C)),$$

$$T(B \,\&\, C)' = (T(B)' \,\&\, T(C)').$$

В дизъюнкции реализуется одна часть, а тестируется любой вариант:

$$T(B \vee C) = (T(B) \vee T(C)),$$

$$T(B \vee C)' = (T(B)' \,\&\, T(C)').$$

В реализации импликации, кроме традиционного преобразования реализации посылки в реализацию заключения, присутствует сильное тестирование ре-

ализации посылки (сильное в том смысле, что ему известна и сама реализация посылки, и тест для реализации заключения):

$$T(B \Rightarrow C) = ((T(B) \Rightarrow T(C)) \,\&\, ((T(B) \,\&\, T(C)')$$
$$\Rightarrow T(B)'),$$
$$T(B \Rightarrow C)' = (T(B) \,\&\, T(C))'.$$

Это делается для облегчения выявления ошибок в тестах.

Для всеобщности реализация подкванторной формулы вычисляется по значению переменной, а тест содержит это значение:

$$T(\forall x\, B) = (U \Rightarrow T(B)),$$
$$T(\forall x\, B)' = (U \,\&\, T(B)').$$

Для существования реализация содержит значение подкванторной переменной, а тестируется подкванторная формула

$$T(\exists x\, B) = (U \,\&\, T(B)),$$
$$T(\exists x\, B)' = T(B)'.$$

4. Реализационное понимание формул с противодействием

Если B — формула, b — её реализация, а b' — её противодействие, то может быть выполнена особая процедура определения результата «борьбы» реализации b за формулу B против противодействия b'. Запись $b{:}B{:}b'$ означает результат такой борьбы. Здесь мы рассматриваем только простейший бинарный случай, при котором результат может выражаться в «победе» реализации, тогда выражение $b{:}B{:}b'$ считается истинным, иначе реализация «терпит поражение» и выражение $b{:}B{:}b'$ считается ложным.

Понимание атомарной формулы выражается эквивалентностью

$$(p{:}P(c){:}p') \Leftrightarrow I[P](p, c, p'),$$

где $I[P]$ — реализационно-интерактивная интерпретация предиката P, задаваемая для всех предикатов в качестве базиса, с которого начинается понимание всех формул языка; $I[P]$ — одна из рассматриваемых нами допустимых функций соответствующего типа. Например, для одноместного предиката P она имеет тип

$$(((TP\&U)\&TP') \Rightarrow L).$$

Далее понимание всех логических связок подобрано так, чтобы соответствовать типам сопровождающих объектов.

Понимание конъюнкции задаётся эквивалентностью

$$((b,c){:}(B\&C){:}(b',c')) \Leftrightarrow (b{:}B{:}b')\&(c{:}C{:}c').$$

Понимание дизъюнкции задаётся эквивалентностями

$$((0,b){:}(B \vee C){:}(b',c')) \Leftrightarrow (b{:}B{:}b'),$$
$$((1,c){:}(B \vee C){:}(b',c')) \Leftrightarrow (c{:}B{:}c').$$

Понимание импликации задаётся эквивалентностью

$$(i,i»){:}(B \Rightarrow C){:}(b,c') \Leftrightarrow ((b{:}B{:}i»(b,c')) \Rightarrow (i(b){:}C{:}c')).$$

Понимание всеобщности задаётся эквивалентностью

$$(i{:}\ \forall xB(x){:}(c,b')) \Leftrightarrow (i(c){:}B(c){:}c').$$

Понимание существования задаётся эквивалентностью

$$((c,b){:}\ \exists xB(x){:}b') \Leftrightarrow (b{:}B(c){:}b').$$

Запись $b{:}B{:}b'$ можно читать так: «реализация b формулы B устойчива к противодействию b'». Аналогом классически общезначимой формулы в таком понимании является формула, имеющая в любой из интерпретаций рассматриваемого вида реализацию, устойчивую ко всем противодействиям. Такие формулы будем называть интерактивно общезначимыми для данного класса интерпретаций.

Непосредственная проверка интерактивной общезначимости невозможна, поскольку предполагала бы проверку в бесконечном множестве интерпретаций. Тем не менее для логического вывода интерактивно общезначимых формул можно использовать различные логические исчисления. Далее мы показываем, что исчисление, представляющее собой приводимую ниже систему постулатов, обычную для традиционных конструктивных рассуждений, годится и для вывода интерактивно общезначимых формул.

5. Исчисление

Выводимыми единицами описываемого далее логического исчисления (как и в [5]) являются секвенции – формулы специального класса в особой записи, описываемой ниже. В нашем варианте любая секвенция имеет вид

$$xD \rightarrow B,$$

где x — кортеж переменных (возможно, пустой);

D — цепочка формул (возможно, пустая), посылка секвенции;

B — формула, заключение секвенции.

Здесь, в отличие от обычной записи, по техническим причинам мы явно выписываем x — список переменных нашей секвенции. Подразумевается, что переменные x связаны кванторами общности, между формулами D подразумеваются конъюнкции, стрелка обозначает импликацию. Таким образом, например, секвенция

$$yzP(z)Q(y)R(y) \rightarrow Q(y)$$

равнозначна формуле

$$\forall y \forall z(((P(x)\&Q(y))\&R(y)) \Rightarrow Q(y)).$$

В частных случаях традиционно имеем, что

– секвенция $D \rightarrow B$ эквивалентна формуле $(D \Rightarrow B)$;

– секвенция $x \rightarrow B(x)$ эквивалентна формуле $\forall xB(x)$;

– секвенция $\rightarrow B$ эквивалентна формуле B.

Доказать в исчислении формулу B и означает доказать секвенцию $\rightarrow B$.

Потребуем, чтобы все свободные переменные из D и B секвенции

$$xD \rightarrow B$$

содержались в кортеже x.

Далее перечислим постулаты нашего исчисления.

Все логические аксиомы исчисления порождаются одной схемой аксиом:

$$xDBS \to B,$$

где x — кортеж переменных, D и S — цепочки формул, B — формула. Здесь мы рассматриваем чисто логическое исчисление, никаких предметных аксиом не предполагается.

Далее опишем правила вывода секвенций.

Описываемое исчисление ориентировано на алгоритмическую автоматизацию процедуры построения (поиска) логического вывода обратным методом: от цели к аксиомам [5]. Для удобства чтения правила ниже также записываются в обратной форме:

$$(R) \leftarrow (P)$$

или

$$(R) \leftarrow (P)\,(Q),$$

где R — секвенция заключения (цели) правила;

P, Q — секвенции посылок правила (к которым сводится цель).

Правила преобразуют

– либо заключение цели R (правила порождения);

– либо посылки цели R (правила использования).

Во всех правилах далее

– B, C и W — формулы;

– D и S — цепочки формул;

– y, z — цепочки переменных;

– x, u — переменные.

Далее перечислим правила порождения.

Порождение конъюнкции записывается в виде

$$(yD \to (B\&C)) \leftarrow (yD \to B)\,(yD \to C).$$

Порождение дизъюнкции записывается в виде

$$(yD \to (B \vee C)) \leftarrow (yD \to B),$$

$$(yD \to (B \vee C)) \leftarrow (yD \to C).$$

Порождение импликации записывается в виде

$$(yD \to (B \Rightarrow C)) \leftarrow (yDB \to C).$$

Порождение всеобщности записывается в виде

$$(yD\,(y) \to \forall xB(y, x)) \leftarrow (uyD(y) \to B(y, u)),$$

где u — новая переменная (не входящая в y);

$B(y,u)$ — результат замены в $B(y, x)$ всех свободных вхождений переменной x на переменную u (здесь и далее подразумевается переименование связанных переменных в преобразуемой заменой формуле для исключения коллизий обозначений).

Порождение существования записывается в виде

$$(yuzD(y, u, z) \to \exists xB(y, u, z, x))$$

$$\leftarrow (yuzD(y, u, z) \to B(y, u, z, u)),$$

где $B(y, u, z, u)$ — результат замены в $B(y, u, z, x)$ всех свободных вхождений x на u.

Далее перечислены правила использования.

Использование конъюнкции записывается в виде

$$(xS\,(B\&C)D \to W) \leftarrow (xSBCD \to W).$$

Использование дизъюнкции записывается в виде

$$(x\,(B \vee C)D \to W) \leftarrow (xBD \to W)\,(xCD \to W).$$

Использование импликации записывается в виде

$$(xS\,(B \Rightarrow C)D \to W) \leftarrow (xS\,(B \Rightarrow C)D \to B)\,(xSCD \to W).$$

Использование всеобщности записывается в виде

$$(yuzS(y, u, t)\ \forall xB(y, u, z, x)D(y, u, z) \to W(y, u, z))$$

$$\leftarrow (yutB(y, u, z, u)\forall xB(y, u, z, x)D(y, u, z) \to W(y, u, z)),$$

где $B(y, u, z, u)$ — результат замены в $B(y, u, z, x)$ всех свободных вхождений x на u.

Использование существования записывается в виде

$$yS(y)\ \exists xB(y,x)D(y) \to W(y))$$

$$\leftarrow (uyS(y)B(y,u)D(y) \to W(y)),$$

где u — новая переменная (не входящая в y);

$B(y, u)$ — результат замены в $B(y, x)$ всех свободных вхождений переменной x на переменную u.

7. Корректность логических выводов

Поскольку секвенции — особым способом записываемые формулы, то можно рассматривать их реализации и противодействия им.

Приведённое исчисление подобрано так, чтобы естественным образом можно было доказать, что все выводимые секвенции во всех рассматриваемых интерпретациях имеют реализации, устойчивые ко всем противодействиям.

Заключение

В заключение надо отметить, что предложенное конструктивное понимание существенно изменяет традиционное понятие реализации: в реализации импликации, кроме обычного прямого преобразования реализации посылки в реализацию заключения, появляется диагностическая компонента. Этого можно избежать, если всю диагностику вынести в отдельные объекты. Тогда диагностика появится не только у реализации импликации, но и у реализаций вообще всех формул.

Библиографический список

1. Марков А. А. Попытка построения логики конструктивной математики // Исследования по теории алгорифмов и математической логике. М : Изд-во ВЦ АН СССР, 1976. Т. 2. С. 3–31.

2. Шанин, Н. А. Об иерархии способов понимания суждений в конструктивной математике / Н. А. Шанин // Тр. Матем. ин-та АН СССР. 1973. Т. 129. С. 203–266.

3. Клини, С. К. Введение в метаматематику : пер. с англ. / С. К. Клини. М., 1957. (Introduction to Metamathematics, 1952).

4. Верещагин, Н. К. Лекции по математической логике и теории алгоритмов. Ч. 3 : Вычислимые функции / Н. К. Верещагин, А. Шень. М. : МЦНМО, 2012.

5. Маслов, С. Ю. Обратный метод установления выводимости для логических исчислений / С. Ю. Маслов // Логические и логико-математические исчисления. I. Тр. МИАН СССР. 1968. № 98. С. 26–87.

6. Beltiukov, A. P. Intuitionistic formal theories with realizability in subrecursive classes / A. P. Beltiukov // Annals of Pure and Applied Logic. 1997. № 89. P. 3–15.

7. Beltiukov, A. P. A strong induction scheme that leads to polynomially computable realizations / A. P. Beltiukov // Theoretical Computer Science. 2004. № 322. P. 17–39.

8. Beltiukov, A. P. A Weak Constructive Second-Order Arithmetic with Extraction of Algorithms Computable in Polynomial Time / A. P. Beltiukov // J. of Mathematical Sciences. Publisher: 2005. Vol. 130, № 2. P. 4571–4573. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s10958-005-0351-4.

9. Beltiukov, A. P. A Polinomial Programming Language. Transactions of the Institute for Informatics and Automation Problems of the National Academy of Sciences of Armenia / A. P. Beltiukov // Mathematical Problems of Computer Science. 2006. Vol. 27. P. 11–19.

Сведения об авторе

Бельтюков Анатолий Петрович — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретических основ информатики Удмуртского государственного университета. belt.udsu@mail.ru

---

A. P. Beltiukov

UNDERSTANDING TASKS OF COMPUTER SCIENCES WITH COUNTERACTION

A new approach to understanding the statements of problems of informatics, expressed in the form of logical formulas. New understanding logically simpler traditional reasibility (in terms of quantifier depth), but is also a natural in terms of algorithmic problem solving and traditional design considerations. This understanding, in addition to a realization conceived formula attracted the concept test of the realization.

ББК Х482
УДК 658.0

А. С. Боровский, А. Д. Тарасов

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ В ЗАДАЧАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ ИНФОРМАТИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрен процесс решения задачи проектирования системы физической защиты с помощью стандартного генетического алгоритма. Выделены параметры алгоритма с наибольшим влиянием на процесс решения. Даны описания экспериментов и модификаций алгоритма, позволяющие определять значения параметров с помощью адаптивного генетического алгоритма.

Введение

Под системами физической защиты (СФЗ) понимается совокупность инженерно-технических, сигнализационных, программно-аппаратных и иных средств для защиты имущества или объектов от хищений, диверсий и других неправомерных действий, позволяющая на заданном уровне осуществлять создание трудностей, ограничение возможностей и увеличение времени проникновения нарушителя на объект охраны [1]. Критически важные объекты (КВО) — объекты, нарушение функционирования которых приводит к потере управления, разрушению инфраструктуры, необратимому негативному изменению экономики субъекта или административной территориальной единицы или существенному ухудшению на длительный период времени безопасности жизнедеятельности населения, проживающего на данных территориях [2]. Процесс создания СФЗ КВО требует от проектировщика применять любые доступные средства, которые предоставляют современные информационные технологии. Одно из таких средств — поддержка принятия решений.

В задаче принятия решения о составе СФЗ самым сложным и плохо формализуемым этапом, требующим применения процедур обработки экспертных знаний, является концептуальное проектирование, под которым понимаются анализ защищенности объекта, разработка практических рекомендаций по созданию данных систем, выбор варианта и состава инженерно-технических средств охраны (ИТСО). В современных исследованиях широко распространены описания различных методов оценки: защищенности объектов, степени оснащенности объектов техническими средствами, эффективности СФЗ. Научные результаты проводимых исследований применимы для поддержки принятия решения в задачах определения требований к СФЗ и оценки их готового проекта [3–6]. Однако методика поддержки принятия решения с возможностью программной реализации для задачи выбора состава ИТСО отсутствует.

Для решения задач такого рода применяют различные математические методы, в том числе генетические алгоритмы (ГА). Так как задача обеспечения защиты КВО требует использования высокоэффективных методов решения, то при разработке ГА необходимо обеспечить максимальное качество его работы. Генетические алгоритмы обладают множеством преимуществ по сравнению с другими методами оптимизации [7]. Эффективность работы таких алгоритмов зависит от выбранных параметров, например: вероятности кроссинговера, вероятности мутаций, числа точек деления хромосом при кроссинговере и т. п. Чаще всего поиск лучших значений параметров проводится интуитивно, методом проб и ошибок, что приводит к выбору не самых удачных вариантов.

Дополнительная сложность при определении наилучших значений параметров ГА вызывается тем, что необходимо определить не постоянные значения, а правила изменения параметров в процессе поиска решения. Например, желательно уменьшать вероятность мутации в зависимости от времени работы ГА [8].

Таким образом, поиск наилучших значений параметров ГА должен проводиться при каждом его запуске, что возможно при использовании так называемых адаптивных ГА. Проанализируем процесс решения задачи выбора состава ИТСО с помощью стандартного ГА [9]. Выделим параметры ГА, значения которых сильно влияют на эффективность его работы. Приведем необходимые модификации ГА и экспериментально докажем, что эффективность работы алгоритма повышается.

Использование генетического алгоритма в задаче выбора состава инженерно-технических средств охраны объекта

Понятие генетического алгоритма и особенности адаптивного ГА приведены в [7; 10–13]. Для выбора состава ИТСО с помощью стандартного ГА применяется логическая модель, которая представляет структуру объекта в виде графа, где вершины — зоны объекта, ребра — рубежи. Часть зон — критические элементы (КЭ) объекта, требующие защиты. Защита КЭ обеспечивается комплексом ИТСО, состав которого определяется множеством точек контроля (ТК). Физически каждая ТК включает в себя одно или несколько средств комплекса ИТСО, выполняющих одну общую функцию: точка обнаружения (ТО), точка доступа (ТД), точка видеонаблюдения (ТВ), точка

задержки (ТЗ). Таким образом, определено четыре типа ТК, причем для защиты одной зоны может требоваться несколько точек. Решение задачи нахождения оптимального расположения ТК на графе объекта подробно рассмотрено в [9].

Целевая функция ГА данной задачи состоит из двух частей. Первая часть функции отвечает за соответствие набора ТК на каждом из всех возможных путей к КЭ требуемому набору ТК для данного КЭ, т. е. все КЭ должны быть защищены. Если ТК меньше, чем требуется, то значение части функции равно суммарной нехватке ТК на всех путях. Если точек достаточно, то значение части функции равно нулю. Вторая часть функции отвечает за минимизацию общего числа ТК на объекте (чем меньше ТК, тем меньше затраты на создание комплекса ИТСО). Значение части функции равно числу ТК.

Рассчитаем значение эффективности $\mu_1(h_i)$ хромосомы h_i для первой части функции:

$$\mu_1(h_i) = (F_1(h_{\max}) - F_1(h_i)) \Big/ \sum_{k=1}^{n} (F_1(h_{\max}) - F_1(h_k)),$$

где $h_{\max}$ — хромосома с максимальным значением части целевой функции; $F_1(h_{\max}), F_1(h_i)$ — значение первой части целевой функции для хромосом $h_{\max}$ и h_i; n — общее число хромосом.

При использовании данной формулы хромосома с максимальным значением получает эффективность $\mu_1(h_{\max}) = 0$. Эффективности остальных хромосом распределяются в диапазоне от 0 до 1, причем $\sum \mu_1(h_i) = 1$. Если обнаруживается равенство эффективностей всех хромосом, то формула неприменима (деление на ноль). В этом случае все $\mu_1(h_i)$ равны и рассчитываются по формуле $\mu_1(h_i) = 1 / n$. Для второй части целевой функции вычисления аналогичны.

Для получения оптимального решения соблюдение условий первой части целевой функции важнее, чем соблюдение условий второй части, так как если не все КЭ защищены, проект системы защиты непригоден, независимо от затрат. Поэтому в задаче используются так называемые уровни влияния частей целевой функции [9]. Два числа A и B, соотношение которых задает превышение значения первой части целевой функции над второй, участвуют в расчете эффективностей хромосом:

$$\mu(h_i) = (\mu_1(h_i) \cdot A + \mu_2(h_i) \cdot B) / (A + B),$$

где $\mu(h_i)$ — значение эффективности i-й хромосомы для целевой функции в целом; $\mu_2(h_i)$ — значение эффективности i-й хромосомы для второй части целевой функции.

Чем больше разница между числами A и B, тем сильнее одна часть целевой функции влияет на эффективность хромосом (получаемые решения). Следовательно, уровни влияния частей целевой функции — параметры ГА, от которых зависит результативность работы ГА. Эксперименты показали, насколько меняется скорость поиска оптимального решения при изменении отношения уровней влияния. Вероятность мутации хромосом также влияет на скорость работы и на возможность получения оптимального решения.

Таким образом, в процессе решения задачи выбора состава ИТСО объекта с использованием стандартного ГА определяем два параметра, значения которых наиболее важны для эффективной работы алгоритма: уровни влияния частей целевой функции; вероятность мутации хромосом.

Разработка механизма адаптации генетического алгоритма

Создан механизм адаптации для изменения двух параметров ГА в задаче выбора состава ИТСО объекта. Приведем принцип функционирования механизма адаптации. В начале работы ГА запускается процесс сбора информации о свойствах генерируемых поколений хромосом. При запуске процедуры адаптации проводится анализ сохраненных данных, на основе которого определяется необходимость изменения параметров ГА. В процессе анализа информация о прошедших поколениях хромосом сводится к значениям трех переменных. Опишем принцип их получения и зависимость от них параметров ГА.

Переменная Z_1 равна сумме минимумов значений первой части целевой функции всех хромосом за последние 50 поколений:

$$Z_1 = \sum_{j=1}^{50} \min_{i=1}^{n} F_1(h_{ij}),$$

где $F_1(h_{ij})$ — значение первой части целевой функции для i-й хромосомы j-го поколения.

Если в каждом из 50 поколений хотя бы в одной хромосоме $F_1(h_{ij}) = 0$, то $Z_1 = 0$, что означает присутствие в каждом поколении решения с полной защищенностью всех путей.

Переменная Z_2 равна числу поколений, в которых минимальное значение второй части целевой функции (число ТК) среди всех хромосом больше наилучшего найденного значения. В алгоритме работы ГА хромосома с наилучшим решением h_0 сохраняется отдельно и не участвует в операциях кроссинговера и мутации [9]. Информация об общем числе ТК в данной хромосоме $S_{об}(h_0)$ используется для адаптации:

$$Z_2 = \sum_{j=1}^{50} L_j,$$

где $L_j = \begin{cases} 0, & \text{если } \min\limits_{i=1}^{n} F_2(h_{ij}) \le S_{об}(h_0); \\ 1, & \text{если } \min\limits_{i=1}^{n} F_2(h_{ij}) > S_{об}(h_0); \end{cases}$

$F_2(h_{ij})$ — значение второй части целевой функции для i-й хромосомы j-го поколения.

Если в каждом из 50 поколений хотя бы в одной хромосоме значение второй целевой функции равно

или меньше числа ТК в наилучшем найденном решении, то $Z_2 = 0$.

Переменная Z_3 равна среднему значению расстояний между парами родительских хромосом K_{ij}, прошедших процедуру кроссинговера за предыдущие 50 поколений:

$$Z_3 = \sum_{j=1}^{50} \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{K_{ij}}{50n} \right),$$

где $K_{ij} = \left| X_1^{\text{ТД}} - U_1^{\text{ТД}} \right| + \left| X_1^{\text{ТО}} - U_1^{\text{ТО}} \right| + \left| X_1^{\text{ТВ}} - U_1^{\text{ТВ}} \right| + \ldots;$

X, U — части генов i-й пары родительских хромосом j-го поколения для всех ТК (доступа, обнаружения, видеонаблюдения, задержки).

Адаптация уровней влияния зависит от переменных Z_1 и Z_2. Уровень влияния первой части целевой функции A не изменяется, $A = 1$; уровень влияния второй части целевой функции B изменяется на 0,01 за один запуск процедуры адаптации. Адаптация вероятности мутации зависит от генетической близости пар родительских хромосом, т. е. от расстояния [13], которое определяется по переменной Z_3. Переменная $Z_3 = 1$, если в среднем за прошедшие 50 поколений родительские хромосомы (поставленные в пару в родительском пуле) отличались между собой на одну ТК. Большое число одинаковых хромосом приводит к сходимости алгоритма в локальный оптимум, способом выхода из которого соответственно является повышение вероятности мутации. Значение $Z_3 \approx 1$, означает, что вероятность мутации низкая. Слишком высокая вероятность мутации снижает эффективность работы ГА. Сигналом для понижения вероятности мутации служит $Z_3 >> 1$.

Алгоритм работы процедуры адаптации уровней влияния показан на рис. 1.

Рис. 1. Алгоритм работы процедуры адаптации уровней влияния

Анализ работоспособности механизма адаптации генетического алгоритма

После реализации механизма адаптации получена программа для оптимального размещения ИТСО на территории защищаемого объекта [15]. Для проверки работоспособности механизма адаптации проведем эксперименты: требуется сравнить эффективность работы генетического алгоритма с использованием адаптации значений параметров и без нее. В экспериментах определяется скорость поиска решения при различных значениях параметров. Показатель скорости — число итераций алгоритма $j_{\text{опт}}$, прошедших до появления хромосомы с оптимальным решением. Номер итерации соответствует номеру поколения хромосом.

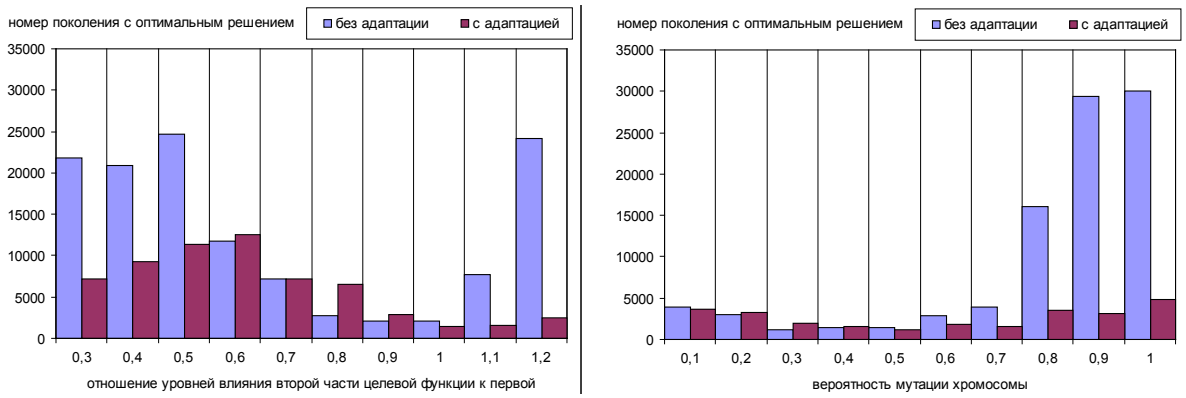
В первой группе экспериментов проверялась только адаптация уровней влияния двух частей целевой функции. В процессе работы адаптивного ГА каждые 100 поколений изменяется отношение уровней влияния частей целевой функции B/A. Во второй группе экспериментов проверялась только адаптация вероятности мутации.

Для обеих групп экспериментов задано ограничение на число прошедших поколений хромосом. Если оптимальное решение не найдено до 30-тысячного поколения, то работа алгоритма прерывается. Эксперименты для одинаковых значений параметров проводились по 5 раз; определялось среднее значение числа прошедших поколений $j_{\text{опт. ср}}$. В случае, если решение не найдено до 30-тысячного поколения, значение $j_{\text{опт}}$ при текущем запуске ГА приравнивалось к 30 тысячам, чтобы иметь возможность найти среднее значение.

Результаты отображены на диаграммах зависимости скорости поиска оптимального решения от значения уровней влияния частей целевой функции и вероятности мутации хромосомы без использования адаптивного ГА и с использованием адаптивного ГА (рис. 2).

Проведем сравнительный анализ. Использование адаптации уровней влияния частей целевой функции привело к тому, что оптимальное решение найдено в каждом эксперименте менее чем за 30 тыс. поколений. Тогда как без использования адаптации при отношениях уровней 0,3; 0,4; 0,5 и 1,2 в бóльшей части экспериментов решение не найдено до 30-тысячного поколения. Теоретически ГА никогда бы не вышел из локального оптимума. Адаптация параметра исправляет данную ситуацию и, следовательно, не только ускоряет работу, но и влияет на возможность ГА найти оптимальное решение.

Рассмотрим изменение в скорости работы ГА для проведенных экспериментов. Очевиден резкий прирост скорости при включении адаптации, если заданы неподходящие для текущего модельного объекта значения B/A: 0,3; 0,4; 0,5 и 1,2. При значениях от 0,6 до 1,1 обнаруживается относительно небольшое за-



а *б*

Рис. 2. Диаграммы зависимости скорости поиска оптимального решения от уровней влияния частей целевой функции (а) и вероятности мутации хромосомы (б) без использования и при использовании адаптивного генетического алгоритма

медление и ускорение работы ГА. С учетом погрешности, вызванной случайными процессами, сделан вывод: если заданы значения параметра, наилучшие для текущих исходных данных, то включение механизма адаптации не дает ощутимого прироста скорости. В итоге среднее число поколений, необходимое для нахождения оптимального решения, в экспериментах без адаптации уровней влияния частей целевой функции $j_{\text{опт. ср}} = 12522{,}42$; с адаптацией $j_{\text{опт. ср}} = 6220{,}68$.

Адаптация вероятности мутации также приводит к повышению эффективности работы ГА. Оптимальное решение найдено в каждом эксперименте, менее чем за 30 тыс. поколений. Без использования адаптации при вероятностях $P_{\text{м}}^{h} = 0{,}8$ и $P_{\text{м}}^{h} = 0{,}9$ в части экспериментов решение не найдено, при $P_{\text{м}}^{h} = 1$ не найдено ни разу. Следовательно, адаптация вероятности мутации также влияет на возможность ГА найти оптимальное решение. Скорость работы ГА с адаптацией вероятности мутации практически одинакова для всех экспериментов. С учетом погрешности, вызванной случайными процессами, сделан вывод: включение механизма адаптации приводит к высокой скорости работы алгоритма при любых исходных значениях вероятности мутации хромосомы. Среднее число поколений без адаптации вероятности мутации $j_{\text{опт. ср}} = 9314{,}64$; с адаптацией $j_{\text{опт. ср}} = 2652{,}04$.

Работоспособность механизма адаптации и повышение скорости работы ГА экспериментально доказаны.

Заключение

Приведем достоинства адаптивного ГА:

– подбор уровней влияния частей целевой функции и вероятности мутации не требует вмешательства пользователя, т. е. нет необходимости в проведении экспериментов для определения значений параметров, наиболее подходящих к текущим исходным данным задачи;

– постоянное изменение параметров в процессе работы ГА ускоряет процесс решения за счет приближения свойств генерируемых хромосом к последнему найденному наилучшему решению;

– повышение вероятности мутации в случае слишком малого расстояния между хромосомами одного поколения дает возможность вывести процесс решения задачи из локального оптимума.

Недостатки адаптивного ГА:

– адаптация частей целевой функции увеличивает вероятность попадания в локальный оптимум, так как приближает свойства генерируемых хромосом к свойствам ранее найденного наилучшего решения, возможно, сильно отличающегося от оптимального;

– процедуры адаптации имеют свои параметры, от которых зависит их работоспособность и эффективность: число анализируемых поколений; число шагов ГА между запусками процедуры адаптации; шаг изменения уровней влияния и вероятности мутации за один запуск процедуры и т. п. Настройка значений данных параметров требует тщательного анализа для обоснования правильности выбранных значений.

Экспериментально доказано, что реализованный адаптивный ГА повышает эффективность принятия решения при проектировании СФЗ объекта.

Библиографический список

1. Магауенов, Р. Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения / Р. Г. Магауенов. М. : Горячая линия — Телеком, 2004. 367 с.

2. Перминов, А. Н. О новом подходе к решению задачи мониторинга критически важных объектов и (или) потенциально опасных объектов инфраструктуры Российской Федерации и опасных грузов: цели, задачи и направления развития / А. Н. Перминов // Право и безопасность. 2005. № 4. С. 41–46.

3. Панин, О. А. Проблемы оценки эффективности функционирования систем физической защиты объектов / О. А. Панин // БДИ (Безопасность. Достоверность. Информация). 2007. № 3 (72). С. 22–27.

4. Панин, О. А. Анализ безопасности интегрированных систем защиты: логико-вероятностный подход

[Электронный ресурс] / О. А. Панин // Спец. техника. 2004. № 5. С. 1–10. URL: http://www.ess.ru/sites/default/files/files/articles/2004/05/2004_05_03.pdf

5. Радаев, Н. Приближенные оценки защищенности объектов от террористических действий / Н. Радаев // БДИ (Безопасность. Достоверность. Информация). 2007. № 3 (72). С. 28–32.

6. Руководство по созданию комплексной унифицированной системы обеспечения безопасности музейных учреждений, защиты и сохранности музейных предметов. Ч. 2 : Основные компоненты КТСОБ / А. В. Богданов и др. СПб. : ИНФО-ДА, 2014. 254 с.

7. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский ; пер. с пол. И. Д. Рудинского. М. : Горячая линия — Телеком, 2006. 452 с.

8. Холланд, Дж. Генетические алгоритмы / Дж. Холланд // В мире науки. 1992. № 9–10. С. 32–40.

9. Боровский, А. С. Обобщенная модель системы физической защиты как объект автоматизированного проектирования / А. С. Боровский // Вестн. компьютер. и информ. технологий. 2014. № 10. С. 45–52.

10. Скурихин, А. Генетические алгоритмы / А. Скурихин // Новости искусств. интеллекта. 1995. № 4. С. 6–17.

11. Спицын, В. Г. Представление знаний в информационных системах : учеб. пособие / В. Г. Спицын, Ю. Р. Цой. Томск : Изд-во ТПУ, 2007. 160 с.

12. Скобцов, Ю. О. Основи еволюційних обчислень: навчальний посібник / Ю. О. Скобцов. Донецьк : ДонНТУ, 2008. 326 с.

13. Панченко, Т. В. Генетические алгоритмы / Т. В. Панченко ; под ред. Ю. Ю. Тарасевича. Астрахань : Изд-во Астрах. гос. ун-та, 2007. 87 с.

14. Св-во № 2014615742 о регистрации программы для ЭВМ. GenalgSfz / Тарасов А. Д. (RU), Боровский А. С. (RU); опубл. 20.06.2014 г.

15. Св-во № 2015660282 о регистрации программы для ЭВМ. Оптимальное размещение ИТСО на территории защищаемого объекта — адаптивный генетический алгоритм GenalgSfz2 / Тарасов А. Д. (RU), Боровский А. С. (RU); опубл. 20.10.2015 г.

Сведения об авторах

Боровский Александр Сергеевич — кандидат технических наук, заместитель директора института управления рисками и комплексной безопасности Оренбургского государственного аграрного университета. borovski@mail.ru

Тарасов Андрей Дмитриевич — старший преподаватель Оренбургского государственного аграрного университета. adtarasov@mail.ru

---

A. S. Borovski, A. D. Tarasov

METHODS AND ALGORITHMS USED IN PROBLEMS OF INFORMATIZATION OBJECTS PHYSICAL PROTECTION SYSTEMS DESIGNING BASED ON FUZZY INFORMATION PROCESSING

It is observed solving process of physical protection system designing problem with Standard Genetic Algorithm using. Genetic Algorithm parameters with the greatest influence on decision process were found. Experiments and Genetic Algorithm modifications are described which let these parameters be determined with Adaptive Genetic Algorithm using.

ББК 3844.150.2
УДК 004.3

Р. А. Гараев, С. В. Батухтина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕСУРСОВ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ С ARM-АРХИТЕКТУРОЙ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ КРИПТОАЛГОРИТМОВ

Проведено экспериментальное определение затрат процессорного времени и объемов памяти для реализации криптографических алгоритмов RSA и AES на микроконтроллерах семейства ARM. Использованы реальные микроконтроллеры в составе оценочных плат AT91SAM7S-EK и STM32F4 DISCOVERY. Публикации с подобной информацией практически отсутствуют, хотя она крайне важна при проектировании систем и сетей на основе микроконтроллеров.

На сегодняшний день количество используемых в мире микроконтроллеров превосходит количество процессоров традиционных ЭВМ, тем не менее сети на основе микроконтроллеров или автономно работающие микроконтроллеры зачастую не защищают обрабатываемую ими информацию. С учетом характерной для микроконтроллеров роли устройства, непосредственно управляющего различными, в том числе очень важными объектами, такая незащищенность может приводить к значительным потерям и издержкам.

Цель выполненной работы — экспериментально исследовать функционирование криптографических алгоритмов на реальных микроконтроллерах, в частности, получить информацию о ресурсах процессоров и памяти, необходимой для их реализации. Дело в том, что публикации с подобной информацией до настоящего времени практически отсутствуют.

В качестве объектов исследования выбраны алгоритм асимметричного шифрования RSA и алгоритм симметричного шифрования AES.

Для корректного шифрования данных в RSA необходимо работать с многоразрядными числами. В связи с этим при реализации алгоритма RSA была применена модифицированная библиотека BigDigits [1]. Эта библиотека позволяет работать с большими числами, которые не вмещают стандартные типы данных.

Для реализации алгоритма AES была модифицирована библиотека aes256 [2], которая содержит описание всех функций алгоритма AES.

Как известно, наиболее популярными на данный момент являются RISC-процессоры — вычислители с ограниченным набором команд. Среди RISC-процессоров особо выделяют ARM — семейство лицензируемых 32- и 64-битных микропроцессорных ядер разработки компании ARM Limited.

Была поставлена цель экспериментально исследовать затраты вычислительных ресурсов на поддержку криптоалгоритмов в МК семейства ARM: AT91SAM7S256 и STM32F407VGT6, которые входят в состав оценочных плат AT91SAM7S-EK [3], STM32F4 DISCOVERY [4].

Определение времени шифрования и расшифрования осуществлялось на основе подсчета числа прерываний системного таймера микроконтроллера. Практически измерение проводилось путем определения числа таймерных прерываний, необходимых для выполнения заданного числа циклов шифрования или расшифрования.

Чтобы определить, насколько велик разброс времени при шифровании/расшифровании на разных ключах одной длины, необходимо произвести целую серию тестовых измерений. В связи с тем, что компиляция программ и запись их в ПЗУ МК занимает достаточно большое время, тестовые измерения были проведены на ПК, оснащенном процессором семейства Intel Atom.

В ходе проведения измерения были получены следующие данные:

Таблица 1

Время шифрования для ключей RSA различной длины (см. рис. 1)

Шифрование			
Длина ключа, бит	Время, мс		
1 024	29	30	31
1 536	78	79	80
2 048	110	111	112
2 560	246	247	248
3 072	297	298	299
3 584	344	345	347
4 096	416	438	477

Для измерения временны́х затрат при выполнении криптовычислений на реальных микроконтроллерах оценочные платы с МК подключались к ПК при помощи интерфейса USB с использованием класса CDC. Далее запускался сеанс измерений, во время которого команды для выбора режима и результаты в виде значений затраченного времен, передавались по каналу МК-ПК при помощи популярной терминальной программы PuTTY.

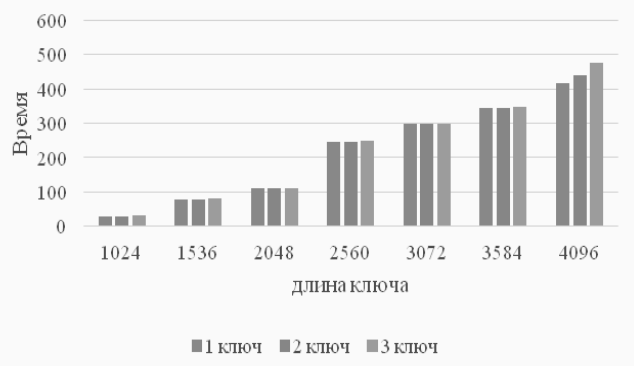


Рис. 1. Диаграмма зависимости времени от длины ключа

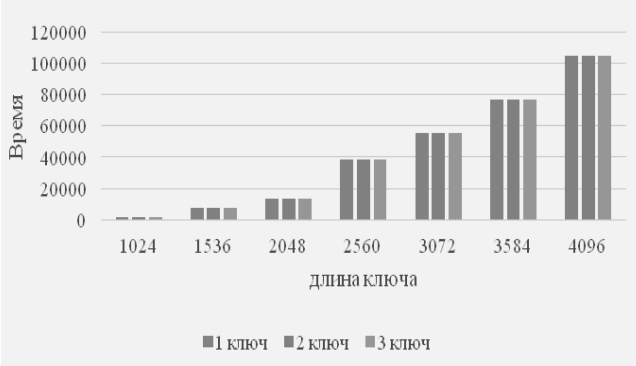


Рис. 2. Диаграмма зависимости времени от длины ключа

Таблица 2

Время расшифрования для ключей RSA различной длины (см. рис. 2)

Расшифрование			
Длина ключа, бит	Время, мс		
1 024	1 850	1 853	1 863
1 536	7 237	7 245	7 250
2 048	13 714	13 723	13 773
2 560	38 137	38 163	38 182
3 072	55 165	55 180	55 245
3 584	76 743	76 815	76 860
4 096	104 675	104 727	104 845

Программирование МК (запись кода в ПЗУ) производилось при помощи утилит SAM-BA v2.15 (в случае at91sam7s256) и STM32 ST-LINK Utility.

Так как измерения проводились на процессорах с разной частотой (48 МГц, 168 МГц, 1,86 ГГц), корректно сравнивать полученные данные для ключей 1024 бита и 256 бит с учетом этих частот. Коэффициенты пересчета для сравнения 1; 3,5; 38,75. Получены результаты, представленные в табл. 3.

Помимо измерения необходимого времени шифрования и расшифрования, был рассчитан и необходимый объем памяти. У алгоритма RSA, без учета длины ключа, он составляет 620 Кб (с учетом длины ключа — 620–622 Кб), а у AES — 410 Кб.

Таблица 3

Сводная таблица для алгоритма RSA без учета коэффициентов

1 024 бита	AT91SAM7S256	STM32F407VGT6	Intel Atom
Время шифрования, с	0,035	0,014	0,03
Время расшифрования, с	30,514	0,885	0,1853

Таблица 4

Сводная таблица для алгоритма RSA с учетом коэффициентов

1024 бита	AT91SAM7S256	STM32F407VGT6	Intel Atom
Время шифрования, с	0,035	0,049	1,1625
Время расшифрования, с	30,514	3,0975	7,1804

Таблица 5

Сводная таблица для алгоритма AES без учета коэффициентов

256 бит	AT91SAM7S256	STM32F407VGT6	Intel Atom
Время шифрования, с	0,1044	0,00057	0,0022
Время расшифрования, с	0,1044	0,00057	0,0022

Таблица 6

Сводная таблица для алгоритма AES с учетом коэффициентов

256 бит	AT91SAM7S256	STM32F407VGT6	Intel Atom
Время шифрования, с	0,1044	0,001995	0,08525
Время расшифрования, с	0,1044	0,001995	0,08525

Полученные данные после соответствующего масштабного пересчета могут быть практически использованы разработчиками при проектировании вычислительных систем и сетей на базе микроконтроллеров с целью формирования обоснованной оценки временны́х затрат процессора и объемов памяти, необходимых для реализации криптографических алгоритмов.

Библиографический список

1. BigDigits 2.4.0 [Электронный ресурс]. URL: http://www.di-mgt.com.au/bigdigitsmanual/index.html (дата обращения: 19.09.2015)
2. Space-efficient AES256/AES128 implementation [Электронный ресурс]. URL: https://github.com/pfalcon/aes256_128 (дата обращения: 19.09.2015)
3. AT91SAM7S-EK Evaluation Board User Guide [Электронный ресурс]. URL: http://www.atmel.com/images/doc6112.pdf (дата обращения: 19.09.2015)
4. STM32F4DISCOVERY. Discovery kit with STM32F407VG MCU [Электронный ресурс]. URL: http://www.st.com/web/catalog/tools/FM116/CL1620/SC959/SS1532/LN1848/PF252419 (дата обращения: 19.09.2015)

Сведения об авторах

Гараев Рашит Аюпович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры вычислительной техники и защиты информации Уфимского государственного авиационного технического университета. garaevra@mail.ru

Батухтина Светлана Владимировна — магистрант кафедры вычислительной техники и защиты информации Уфимского государственного авиационного технического университета. batukhtina.lana@mail.ru

---

R. A. Garaev, S. V. Batuhtina

AN EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF ARM-ARCHITECTURE MCU RESOURCES FOR SUPPORT OF CRYPTOGRAPHIC ALGORITHMS

The article describes an experimental determination of the CPU time and memory resources for the implementation of cryptographic algorithms RSA and AES using microcontroller family of ARM. Two microcontrollers used were constituent parts of evaluation boards AT91SAM7S-EK and STM32F4 DISCOVERY. Publications containing appropriate information are virtually unavailable, although it may be extremely important for designers of systems and networks based on microcontrollers.

ББК 3972.53
УДК 004.49

М. Ю. Косенко

МНОГОАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ВЫЯВЛЕНИЯ И БЛОКИРОВАНИЯ БОТНЕТОВ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ АТАКИ ТИПА «ОТКАЗ В ОБСЛУЖИВАНИИ»

Описывается архитектура многоагентной системы обнаружения ботнетов, позволяющей блокировать атаки на стороне её источника. Для чего используются агентно-ориентированные методы представления моделей, объектно-ориентированные и агентные методологии проектирования и разработки программных систем. Также рассматривается метод обнаружения трафика ботнетов, основанный на интеллектуальном анализе данных.

Общая характеристика работы

Один из популярных сценариев множества атак, реализуемых в глобальной сети Интернет,— это атака с помощью ботнетов. Распространение технологий широкополосного доступа привело к расширению возможностей ботнетов по запуску атак типа «отказ в обслуживании», заражению шпионским вредоносным программным обеспечением, хищению конфиденциальных данных, широкомасштабной рассылке спама, «накручиванию» кликов, шантажу и вымогательству. Аналитические данные компаний, специализирующихся в сфере защиты информации, таких как Prolexic/Akamai, Incapsula, показывают, что ботнеты являются основной угрозой безопасности в Интернете. Как можно заметить на рис. 1, постоянно функционируют более 1 200 ботнетов [The Shadowserver Foundation].

Данные показывают, что существующие методы борьбы с ботнетами не дают эффективного результата. Таким образом, вопрос развития систем обнаружения ботнетов в современных глобальных и локальных сетях как дополнение к стандартным системам защиты является важным и актуальным.

Степень разработанности темы. От решения вопроса качественного обнаружения и блокирования ботнетов зависит безопасность Интернета, инженерных и бизнес-систем, и поэтому данный вопрос широко освещен в работах отечественных и зарубежных авторов, таких как J. R. Binkley, S. Singh, A. Ramachandran, C. Livadas, A. Karasaridis, E. Stinson, J. C. Mitchell, T. F. Yen, M. K. Reiter и др. Binkley и Singh [1] для обнаружения IRC-ботнетов предложили объединить IRC-статистику и данные о рабочей нагрузке TCP (т.е. аномальная активность сканирования). Их подход позволяет определять только некоторые типы ботнетов, в частности IRC-ботов, которые выполняют сканирование. Ramachandran и др. [2] предложили использовать контрразведку по DNSBL (черные списки DNS), чтобы найти членов ботнетов, генерирующих спам. Основное предположение данного подхода заключается в том, что бот-мастер может использовать DNSBL для определения статусов его ботов, т. е. подозрительно, когда машина запрашивает множество запросов о других, но сама редко запрашивается другими. Эта идея в некоторых случаях может быть полезной, но в целом не является действенной и может порождать множество ложных срабатываний. В результате этот подход работает только в некоторых случаях выявления спам ботнетов. Rishi [3] — это система обнаружения IRC-ботов на основе сигнатур, которая отслеживает совпадение с именами (никнеймами) известных IRC-ботов. Подобно всем сигнатурным средствам, антивирусам или СОВ, этот подход точен, но только если доступна обширная и точная база данных сигнатур. Данная система обладает и недостатками, присущими сигнатурным решениям, невозможностью обнаружить ботов без использования шаблонов известных имен ботов. Livadas и др. [4; 5] предложили подход, осно-

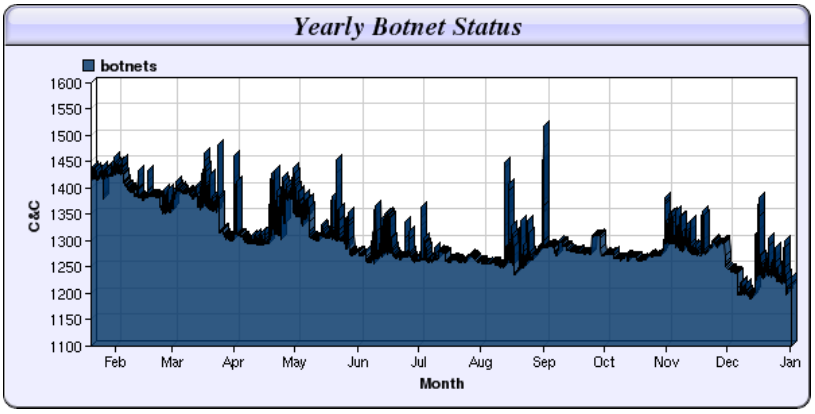


Рис. 1. Количество ботнетов, зафиксированное в 2015 г.

ванный на машинном обучении. Для обнаружения ботнета используются различные характеристики трафика протоколов обмена сообщениями, такого как IRC, на сетевом уровне (например, байт в секунду). Karasaridis и др. [6] изучали потоки трафика на сетевом уровне для контроля IRC-ботнетов в магистральных сетях. Stinson и Mitchell предложили BotSwat [7], хостовую систему отслеживания вредоносного программного обеспечения, умеющую идентифицировать программы, которые используют сетевые данные как аргумент для системных вызовов. При этом эти данные не вводятся пользователем и не имеют явного разрешения на запуск в качестве параметров системных вызовов. То есть эта система пытается определить поведение возможного удаленного управления ботом. Этот подход может приводить к ложным срабатываниям (потому что многие легитимные программы используют данные трафика в аргументах своих системных вызовов) и снижению производительности (очень сложно анализировать распространение ВПО, поэтому этот подход, как правило, используется только для анализа, а не для обнаружения). Yen и Reiter предложили TAMD [8], систему определяющую потенциальное ВПО. Она агрегирует трафик, который имеет одинаковые внешние адреса назначения, похожую полезную нагрузку пакетов и включающей в себя внутренние хосты с одинаковыми операционными системами. Метод агрегирования TADM основан на наблюдении за объемами трафика в сети назначения, в частности за увеличением трафика по сравнению с некоторым более ранним показателем. Кроме этого, этот метод агрегирования ограничен объединением ботов, использующих централизованную структуру C&C, а это значит, что в случае других структур (например, P2P) этот метод будет не эффективен.

Целью работы является повышение защищенности информационных систем от атак с использованием ботнетов на основе разработки и применения многоагентной системы выявления и блокирования ботнетов с использованием алгоритмов интеллектуального анализа данных.

Для достижения поставленной цели в работе были определены и решены следующие задачи:

1. Исследование распространенных атак типа «отказ в обслуживании», процесса их реализации и механизмов защиты от них.

2. Исследование существующих подходов к выявлению ботнетов.

3. Разработка архитектуры многоагентной системы обнаружения и блокирования ботнетов.

4. Разработка структуры агентов системы обнаружения ботнетов.

5. Разработка методики и алгоритма выявления признаков ботов.

6. Разработка исследовательского прототипа системы выявления и блокирования ботнетов.

7. Анализ эффективности функционирования предложенных в исследовании методики и алгоритмов с использованием разработанных программных решений.

Объектом исследования в данной работе являются методы и средства противодействия ботнетам в открытых компьютерных сетях, включая Интернет.

Предметом исследования являются методы и алгоритмы обнаружения ботнетов с использованием алгоритмов анализа данных.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Разработана архитектура многоагентной системы обнаружения ботнетов, позволяющей блокировать атаки на стороне её источника, тем самым разгрузив каналы передачи от вредоносного трафика. В том числе предложенная архитектура позволяет идентифицировать и блокировать пассивных участников ботнета.

2. Разработан метод обнаружения трафика ботнетов, основанный на интеллектуальном анализе данных. Использование предложенного метода позволяет динамически решать задачу идентификации ботнетов путем автоматического формирования сигнатуры ботов, позволяет обнаруживать ботнеты различных организационных структур, а также не зависит от типа вредоносной деятельности ботов.

Теоретическая и практическая ценность исследования состоит в том, что разработан исследовательский прототип системы выявления и блокирования ботнетов, позволяющий:

– повысить эффективность предотвращения распределенных атак, совершаемых ботнетами;

– защитить информационную систему от атаки до её начала путем блокирования ботнета, реализующего атаку;

– обеспечивать централизованный мониторинг ботнетов в сети Интернет;

– обеспечить процесс проведения киберрасследований благодаря возможности обработки накопленных данных.

Методология и методы исследования. При решении поставленных в работе задач использовались теоретико-множественные, агентно-ориентированные методы представления моделей, объектно-ориентированные и агентные методологии проектирования и разработки программных систем, а также методы интеллектуального анализа данных. Для оценки эффективности предлагаемых решений использовались методы математического и имитационного моделирования.

Основное содержание работы

В работе проведен анализ современного состояния в области обнаружения ботнетов. Рассмотрены существующие техники обнаружения вторжений и вредоносного программного обеспечения. Проведен обзор систем сбора информации о ботнетах и

их отслеживания на основе метода приманки. Также проведен обзор существующих работ по обнаружению ботнетов. Сформулированы семь аспектов, позволяющих описывать и сравнивать между собой средства обнаружения ботнетов.

Приведена классификация защитных механизмов от распределенной атаки типа «отказ в обслуживании». Проведен обзор превентивных механизмов защиты от распределенной атаки типа «отказ в обслуживании». На основании сделанных заключений сформулированы цель и задачи исследования, поставленные в работе.

Основная часть работы посвящена модели предлагаемого решения, архитектуре многоагентной системы, методу и алгоритму обнаружения трафика ботнетов Botnet MultiAgent Recognition.

Получены классы функциональности агентов: {Обнаружение, Блокирование, Исследование, Идентификация, Координация, Интерфейс}. Каждому классу может соответствовать свой тип агента, решающий задачи класса. Таким образом, многоагентная система идентификации ботнета имеет вид

$$MAS = \{A_{detection}, A_{blocking}, A_{discrovery}, A_{identification}, A_{coordination}, A_{interface}\},$$

где $A_{detection} = \left\{A^1_{detection}, \ldots, A^n_{detection}\right\}$ — множество агентов обнаружения атаки типа «распределенный отказ в обслуживании». Агенты данного класса решают задачу обнаружения атак и реагируют на неё определенным в сценарии реагировании образом. В каждой автономной системе сети Интернет располагается как минимум один агент данного класса $A^i_{detection}$, где $i = 1, ..., n$ — номер автономной системы сети Интернет.

$A_{blocking} = \left\{A^1_{blocking}, \ldots, A^n_{blocking}\right\}$ — множество агентов, решающих задачу блокирования обнаруженной атаки. В каждой автономной системе сети Интернет располагается как минимум один агент данного класса $A^i_{blocking}$, где $i = 1, ..., n$ — номер автономной системы сети Интернет.

$A_{discovery} = \left\{A^1_{discovery}, \ldots, A^n_{discovery}\right\}$ — множество агентов выявления признаков бота. Класс агентов, решающий задачу определения характерных признаков работы бота. В каждой автономной системе сети Интернет располагается как минимум один агент данного класса $A^i_{discovery}$, где $i = 1, ..., n$ — номер автономной системы сети Интернет.

$A_{identification} = \left\{A^1_{identification}, \ldots, A^n_{identification}\right\}$ — множество агентов идентификации работы бота в рамках автономной системы. Агенты данного класса анализируют трафик сети на наличие признаков функционирования ботов. В каждой автономной системе сети Интернет располагается как минимум один агент данного класса $A^i_{identification}$, $i = 1, ..., n$ — номер автономной системы сети Интернет.

$A_{coordination}$ — множество агентов сети, решающих задачу распространения информации об активных агентах.

$A_{interface}$ — множество агентов сети, решающих следующие задачи: контроль и мониторинг работы сети агентов, визуализация атак, хранение информации.

Концептуальный алгоритм функционирования системы Botnet MultiAgent Recognition (BNMAR) заключается в следующем (рис. 2):

1. Агент обнаружения атаки типа «распределенный отказ в обслуживании» обнаруживает атаку на подконтрольную ему сеть.
2. Агент обнаружения атаки сообщает агенту координации информацию о сетях источника обнаруженной атаки.
3. Агент координации передает агентам блокирования, находящимся в соответствующих источникам атаки автономных системах, информацию об атакующем узле.
4. Агент координации передает агенту выявления признаков бота, контролирующего сеть источника атаки, информацию об атакующем узле.
5. Агент координации передает интерфейсному агенту информацию об атаке.
6. Агент блокирования прекращает злонамеренную активность узлов, находящихся в контролируемой им сети.
7. Агент выявления признаков бота анализирует активность узлов, замеченных в атаке, в результате чего выявляет характерные признаки работы бота.
8. Агент выявления признаков бота сообщает характерные признаки работы бота агенту координации.
9. Агент координации рассылает информацию о работе ботов агентам идентификации ботов.

Агенты идентификации анализируют трафик в своей сети, пробуя обнаружить полученные признаки работы бота. В случае удачной идентификации передают информацию о боте агенту координации, который направляет её интерфейсному агенту для дальнейшего принятия решения.

Предложенный метод обнаружения трафика ботнета состоит из следующих этапов:

– фильтрация трафика;
– агрегация связанных потоков;
– векторизация потоков;
– кластеризация коммуникационных потоков;
– кросс-кластерная корреляция.

Фильтрация. Для осуществления кластеризации необходимо отфильтровать ненужные потоки трафика. Это делается в несколько этапов. Эти этапы полезны для снижения нагрузки трафика и повышения эффективности процесса кластеризации. На первом этапе фильтрации отбрасываются все потоки, кото-

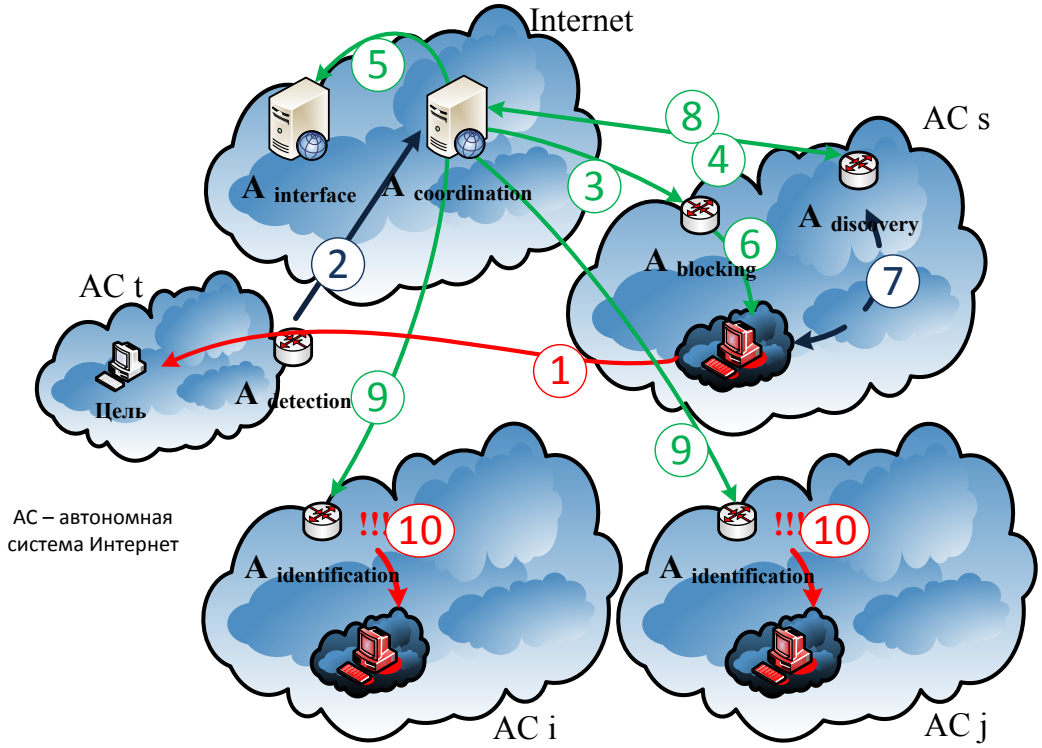


Рис. 2. Схема многоагентной системы идентификации ботнетов

рые не направлены от внутренних хостов к внешним хостам. На втором этапе отфильтровываются исходящие потоки, которые не находятся в состоянии ESTABLISHED. На третьем этапе применяется фильтрация по белым спискам.

Агрегация и векторизация. После фильтрации необходимо провести агрегацию связанных потоков с целью снижения нагрузки. Выбирается временной интервал E (обычно несколько часов), в рамках которого все m TCP/UDP потоков, разделяющих один и тот же протокол (TCP или UDP), адрес источника, адрес назначения и порт, объединяются в один коммуникационный поток $c_i = \{f_j\}_{j = 1, \ldots, m}$, где каждая f_j — это отдельный TCP/UDP поток. Множество $\{c_i\}_{i = 1, \ldots, n}$ объединяет все n коммуникационных потоков, наблюдаемых в интервале E, отражая коммуникацию наблюдаемого хоста.

Задача построения модели коммуникации состоит в выявлении коммуникационных потоков, которые являются общими для всех наблюдаемых хостов. Это может быть достигнуто путем кластеризации рассматриваемых потоков. Для того чтобы применить алгоритмы кластеризации для потоков, сначала необходимо отобразить потоки в подходящем векторном представлении. Мы извлекаем ряд статистических признаков из каждого потока c_i и переводим их в d-мерный вектор $p_i < R^d$. Можно описать эту задачу в качестве функции $F : C \rightarrow R^d$. Функция F определяется следующим образом: учитывая поток c_i, вычисляем дискретное распределение четырех случайных величин:

– количество потоков в час;
– количество пакетов в потоке;
– среднее число байт в пакетах;
– среднее количество байт в секунду.

С учетом дискретного распределения выборки каждой из этих четырех случайных переменных мы вычисляем приблизительный вариант путем техники биннинга данных. Таким образом, мы преобразуем распределение каждой из четырех величин в вектор из k элементов. В результате каждый поток c_i можно представить в виде вектора p_i из $d = 4k$ элемента.

Кластеризация. Цель заключается в поиске групп потоков, похожих друг на друга, тем самым выявляя потоки трафика к управляющим серверам. Для этого применялась техника кластеризации на наборе данных векторного представления потоков. Кластеризация выполнялась техникой обучения без учителя. Поскольку мощность множества данных векторного представления потоков велика, даже для небольших сетей, а также размерность признаков может быть весьма объемной, кластеризация потоков становится сложной задачей. Для того чтобы справиться со сложностью кластеризации процедура разбивалась на несколько этапов. На первом этапе производилась укрупненная кластеризация в уменьшенном пространстве признаков. Результатом первого этапа кластеризации является множество относительно больших кластеров. Второй этап кластеризации выполняется на каждом отдельном наборе данных, выявленных на первом этапе. В этом случае для кластеризации используется полное пространство

признаков. В результате мы получаем уточненные конечные кластера.

Корреляционный анализ. Это заключительный этап алгоритма. В результате корреляционного анализа мы вычисляем кластеры потоков с управляющим ботнетом трафиком. Все кластеры из разных сегментов сети, полученные на предыдущих шагах, сравниваются между собой. Кластеры из разных сетевых сегментов, являющиеся наиболее совпадающими, и будут содержать управляющий трафик.

Для проверки работоспособности и оценки алгоритма идентификации ботнета использовались следующие модифицированные ботнеты: BotSim, Ares, quasibot, ZIB-Trojan, Athena. Центры управления бонетами располагались на внешнем сервере, а боты разместились на виртуальных машинах в сети Института информационных технологий Челябинского государственного университета. Далее на пограничном маршрутизаторе, путем использования техники зеркалирования порта, в течение одной недели собирался весь проходящий трафик. Следует отметить, что в получившемся дампе трафика содержится много протоколов нормальных приложений, таких как HTTP, ICMP, DNS, SMTP, POP3, IMAP, ICQ, FTP, SSH.

Проведенное тестирование алгоритма показало его работоспособность.

Заключение

Для борьбы с ботнетами должны предлагаться новые методы и подходы. Поскольку успешное противодействие бонетам вызовет у злоумышленников значительные проблемы при реализации многих атак, значит, Интернет станет в целом безопаснее.

В этой работе рассмотрена многоагентная система обнаружения и блокирования ботнетов, позволяющая эффективно противодействовать ботнетам, проводить мониторинг их работы и получать информацию для проведения киберрасследований. В работе протестирован подход выявления управляющего трафика ботнета и показана его работоспособность. Дальнейшая работа направлена на разработку алгоритма формирования сигнатур по трафику ботнета. Необходимо выявить из трафика уникальные характеристики и на их основе динамически создавать сигнатуры.

Библиографический список

1. Binkley, J. R. An algorithm for anomaly-based botnet detection / J. R. Binkley, S. Singh // Proceedings of USENIX SRUTI'06. 2006. July. P. 43–48.
2. Ramachandran, A. Revealing botnet membership using DNSBL counter-intelligence / A. Ramachandran, N. Feamster, D. Dagon // Proceedings of USENIX SRUTI'06, 2006. July.
3. Goebel, J. Rishi: Identify bot contaminated hosts by irc nickname evaluation / J. Goebel, T. Holz // Proceedings of USENIX HotBots'07. 2007.
4. Livadas, C. Using machine learning techniques to identify botnet traffic / C. Livadas, R. Walsh, D. Lapsley, W. T. Strayer // Proceedings of the 2nd IEEE LCN Workshop on Network Security (WoNS'2006), 2006.
5. Strayer, W. T. Detecting botnets with tight command and control / W. T. Strayer, R. Walsh, C. Livadas, D. Lapsley // Proceedings of the 31st IEEE Conference on Local Computer Networks (LCN'06). 2006.
6. Karasaridis, A. Wide-scale botnet detection and characterization / A. Karasaridis, B. Rexroad, D. Hoeflin //Proceedings of USENIX HotBots'07. 2007.
7. Stinson, E. Characterizing bots' remote control behavior / E. Stinson, J. C. Mitchell // Proceedings of the 4th GI International Conference on Detection of Intrusions and Malware, and Vulnerability Assessment (DIMVA'07). 2007.
8. Yen, T. F. Traffic aggregation for malware detection / T. F. Yen, M. K. Reiter // Proceedings of the Fifth GI International Conference on Detection of Intrusions and Malware, and Vulnerability Assessment (DIMVA'08), 2008.

Сведения об авторе

Косенко Максим Юрьевич — преподаватель кафедры информационных технологий Челябинского государственного университета. kosenko@csu.ru

---

M. U. Kosenko

MULTI-AGENT SYSTEMS DETECT AND BLOCK BOTNET BASED DISTRIBUTED ATTACKS SUCH AS DENIAL OF SERVICE

In this paper describes the architecture of multi-agent system identify botnets. For describe this system use agent-oriented methods of presentation models, object-oriented and agent-based methodology for the design and development of software systems. It is also considered a data mining based method of detection botnet traffic.

ББК Н482
УДК 658.0

В. Н. Костин, А. С. Боровский

ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ (СФЗ) НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА

Рассматривается информационный подход к формированию организационной структуры функционирования системы физической защиты (СФЗ). Этот показатель определяет степень нагрузки на исполнителей управляющего звена организационной структуры. На основе информационно вероятностного метода определена оптимальная информационная нагрузка исполнителей (операторов) организационной структуры СФЗ и на этой основе сформирована организационная структура.

В настоящее время все чаще информационные показатели вводятся для оценки эффективности функционирования систем, сложности систем и т. д. То есть информационные показатели проникают во все сферы математического анализа систем.

Пройдя последовательно все этапы концептуального проектирования СФЗ, определим ее организационную структуру с помощью информационного подхода. Рассмотрим понятие информации в аспекте анализа упорядоченности и организованности СФЗ категорируемого объекта от воздействия нарушителей.

В теории информации известно, что степень организованности и упорядоченности любой системы можно описать с помощью энтропии Шеннона, а также известно, что система достигает своей оптимальности, когда степень неопределенности энтропии достигает максимума. В этом случае система как организованная структура будет оптимальна и наиболее приспособлена к решению технологических задач в неопределенных ситуациях изменения внешней среды.

Информационные показатели организованности СФЗ-объектов опишем в виде критерия оптимальности $I_{стр} \rightarrow opt$ по горизонтали и вертикали графа организационной структуры, то есть количество информации на элементы управления в организационной структуре СФЗ в глубину и в ширину должно стремиться к оптимальной величине нагрузки и детерминации, которая определена для технических систем [1].

При формировании организационных структур с увеличением количества управляющих звеньев возрастает расходы управленческого аппарата и время процесса управления за счет количества управляющих элементов, при этом уменьшается информационная нагрузка на элементы. При уменьшении количества управляющих звеньев увеличивается информационная нагрузка (снижая стоимость) на элементы управления, что может привести к возникновению задержек в управлении и возрастанию ошибок от перегрузки персонала. В данном случае должна быть золотая середина между двумя тенденциями, это и будет оптимальной организационной структурой (рис. 1).

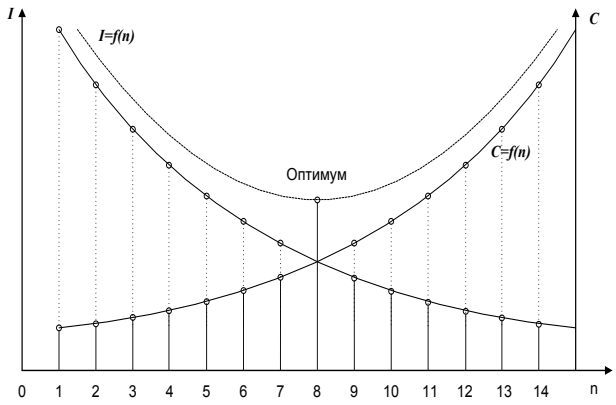


Рис. 1. Информационно-стоимостные зависимости от количества элементов управления

После формирования элементов управления и определения их функций необходимо построить иерархию подчиненности организационной структуры для обеспечения управления функционированием системы.

Если организационная структура имеет малую глубину иерархии, то возникает большая информационная нагрузка на элементы управляющего аппарата между уровнями. И наоборот, если организационная структура имеет глубокую иерархию, то будет увеличено число передаточных элементов управленческого аппарата и время реакции управленческого решения.

Следовательно, необходим оптимум между количеством информационной нагрузки на элементы и количеством управленческого аппарата (рис. 2).

Величина информационной оптимальности по вертикали и горизонтали организационной структуры определена для технических систем как порция преемственности информации $Gн = 0{,}27$ [1; 2].

Количество информации (изменение энтропии) в данной постановке задачи это величина, которая характеризует степень разнородности элементов системы по функциональному назначению, характеристикам и признакам.

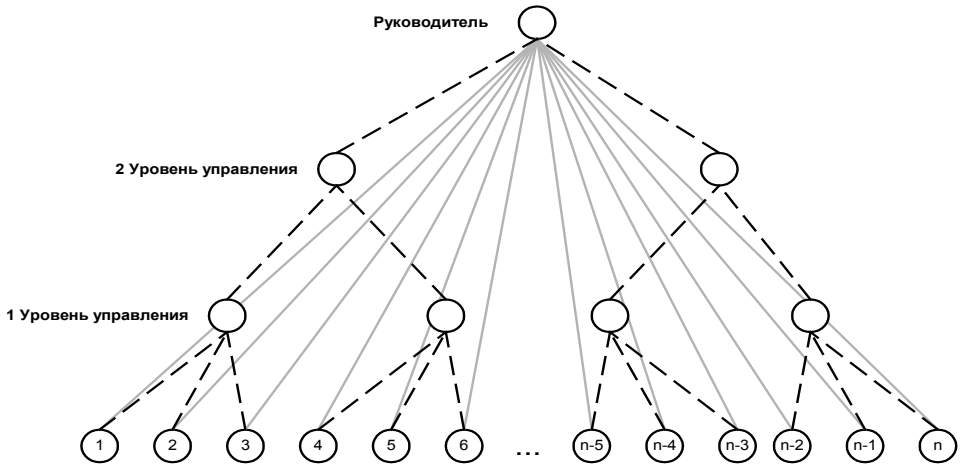


Рис. 2. Иерархическая структура организации (СФЗ)

Обычно, как правило, при формировании организационных структур сверху вниз построение основано на выделении отдельных функций или задач, т.е. осуществляется декомпозиция целого назначения на элементы назначения на основе семантических определений и использования метода главных компонент. Вся информация (функция) раскладывается на независимые компоненты, которые и составляют слепок структуры организации. Затем этот же метод (подход) опускается на следующий нижестоящий уровень, где компоненты наполнятся новой информацией и также делятся на элементы по такому же правилу. Все это представляет деление целого на определенные главные информационно-семантические компоненты.

На последнем уровне по количеству элементов группы могут значительно отличаться, но их информационная составляющая в виде количества информации (порции энтропии) должна быть на уровне, близком к оптимальному. Полученные группы по величине сосредоточенной информации должны быть однородны.

Когда сформирован самый низший уровень управления и подразделения обозримы, необходимо построить матрицу парных корреляций взаимосвязи между подразделениями. В качестве элементов матрицы будем использовать информационную взаимосвязь между структурными элементами, т. е. количество общей информации между ними. На данной матрице методом главных компонент проводится анализ объединения элементов в компоненты (темы), и на его основе формируется следующий уровень организационного управления.

Проверяется однородность информационной нагрузки на каждую ветвь управления. При возникновении неоднородности проводятся различные варианты композиции и декомпозиции элементов организации, при необходимости может возникать дополнительная ветвь управления.

Рассмотрим решение задачи на модельном примере. Проведя синтез размещения элементов СФЗ для типового объекта, получили результаты размещения элементов СФЗ, которые представлены на рис. 3, 4 и табл. 1 [3].

Необходимо сформировать на первом уровне организационно-информационную структуру технических средств контроля наблюдения, каждое средство характеризуется параметрами, которые сведены в табл. 2.

Для анализа информационных процессов, происходящих в СФЗ, представим информационное поле в виде матрицы, одним входом которой является характеристики, а другой носителем этой информации, которыми являются элементы технического контроля. Элементы матрицы соответствующие количественные характеристики.

Величина опасности зоны и интенсивность зоны движения в таблице 2 определена по качественной шкале относительной важности Саати.

Для оценки энтропии используется информационно вероятностный метод, который рассмотрен в статье [4]. На основе этих характеристик определили информационный потенциал технических средств наблюдения (табл. 2).

Анализ результатов показывает, что средства технического контроля имеют разные информационные потенциалы опасности (важности), поэтому при формировании информационных структур их необходимо объединять в группы разные по количественному составу, но однородные по информационной нагрузке на элементы организационного управления (оператора, начальника караула и т. д.).

Вывод. На рубежах проникновения нарушителей средства технического контроля по количественному составу объединять в следующие группы — табл. 3.

Таким образом, получили оптимальное объединение средств технического контроля, то есть максимум однородности информационной нагрузки в группах на элементы управления, что обеспечит приспособленность системы управления в условиях

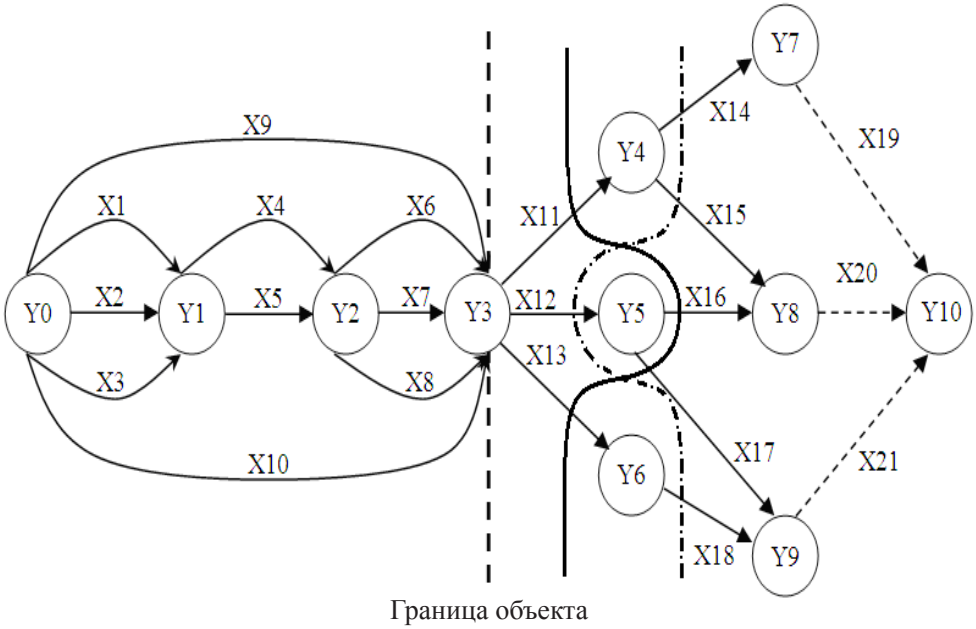


Рис. 3. Прерывание нарушителей на графе проникновения

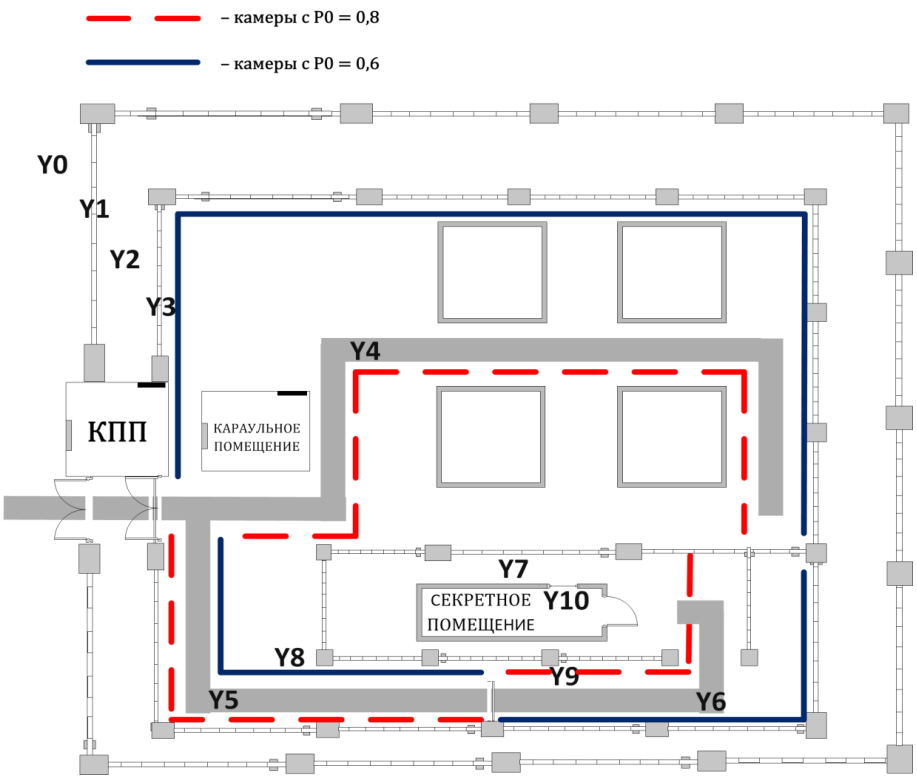


Рис. 4. Объект с рубежами расположения технических средств контроля

Таблица 1

Характеристика технических средств контроля

Тип средства	Расположение на графе проникновения	*P* обнаружения	Количество изделий	Протяженность, м, *N* — сечения	Удаленность от секретного помещения, м
CNB-WFL-21S	$X_{11}, X_{16}, X_{17}, X_{13}$	0,60	13	880–10	450
SCANALL	$X_{12}, X_{14}, X_{15}, X_{18}$	0,80	10	670–9	300

Таблица 2

Характеристики технических средств контроля

Номер технических средств контроля	Характеристика							Энтропийный потенциал средств контроля
	Удаленность от секретного помещения	*P* обнаружения	*P* своевременного прибытия	Опасность зоны	λ движения в зоне технических средств	*N* путей проникновения	№ эшелона камеры	
1	280	0,8	0,5	9	8	4	2	0,315
2	300	0,8	0,6	8	7	5	2	0,328
3	310	0,8	0,8	8	6	7	2	0,377
4	350	0,8	0,8	8	6	8	2	0,416
5	300	0,8	0,8	7	5	6	2	0,359
6	280	0,8	0,7	7	6	8	2	0,363
7	270	0,8	0,5	7	5	9	1	0,265
8	290	0,8	0,6	5	3	4	1	0,171
9	300	0,8	0,8	5	6	5	1	0,282
10	310	0,8	0,8	6	9	7	1	0,348
11	320	0,6	0,7	5	9	8	2	0,322
12	300	0,6	0,6	5	8	6	2	0,267
13	280	0,6	0,6	5	4	8	2	0,241
14	300	0,6	0,6	4	2	9	2	0,218
15	310	0,6	0,6	3	2	4	1	0,099
16	350	0,6	0,6	3	1	5	1	0,110
17	410	0,6	0,6	3	1	7	1	0,148
18	550	0,6	0,7	3	1	8	1	0,210
19	540	0,6	0,7	5	4	6	1	0,263
20	520	0,6	0,6	8	1	8	1	0,257
21	470	0,6	0,6	8	7	9	1	0,324
22	410	0,6	0,6	6	8	12	1	0,318
23	350	0,6	0,55	5	9	11	1	0,277

Таблица 3

Объединение групп технических средств контроля

Характеристика	Группа				
	1	2	3	4	5
№ из табл. 2	1–4	5–10	11–16	17–19	20–23
Энтропийный потенциал важности	0,320	0,328	0,311	0,333	0,322

неопределенности изменения внешних условий. При меньшей нагрузке оператор будет информационно недогружен, в противном случае — перегружен.

Заключение

Рассмотрен информационный подход к формированию организационных структур элементов СФЗ.

Библиографический список

1. Мушков, А. Ю. Модели и методы стратегического управления сложными экономическими и технологическими системами : монография / А. Ю. Мушков, В. А. Тихомиров, В. А. Тихомиров. Тверь, 2003. 244 с.

2. Седов, Е. А. Эволюция и информация / Е. А. Седов. М. : Наука, 1976. 226 с.

3. Костин, В. Н. Методика формирования оптимального размещения элементов системы физической защиты (СФЗ) охраняемого объекта / В. Н. Костин, Н. В. Гарнова // Инфокоммуникац. технологии. 2013. № 4. С. 91–95.

4. Костин, В. Н. Информационно-вероятностный метод формирования категорий потенциально опасных объектов / В. Н. Костин, А. К. Пономарев // Вестн. компьютер. и информ. технологий. 2015. № 6. С. 34–41.

Сведения об авторах

Костин Владимир Николаевич — кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем Оренбургского государственного университета. vladimirkostin57@mail.ru

Боровский Александр Сергеевич — кандидат технических наук, доцент, заместитель директора института управления рисками и комплексной безопасности Оренбургского государственного аграрного университета. borovski@mail.ru

---

V. N. Kostin, A. S. Borovskiy

OPTIMIZATION OF THE ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF SYSTEM OF PHYSICAL PROTECTION (SFZ) ON THE BASIS OF INFORMATION APPROACH

In article information approach to formation of organizational structure of functioning of system of physical protection (SFZ) is considered. This indicator defines degree of load of performers of the operating link of organizational structure. In article on a basis it is information a probabilistic method optimum information load of performers (operators) of organizational structure of SFZ is defined and on this basis the organizational structure is created.

ББК 3973.2-018.1
УДК 004.056

А. С. Марков, Ю. В. Рауткин

ВОПРОСЫ СТАНДАРТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ БЕЗОПАСНЫХ ПРОГРАММ

Рассмотрены проблема безопасности программ и современные стандарты, касающиеся выявления их уязвимостей. Показано, что уровень безопасности программ пропорционален уровню «зрелости» организации разработчика. Дан обзор корпоративных стандартов в области разработки безопасных программ. Обоснован комплекс мер безопасной разработки программ, гармонизированный с ISO 15408. Предложены концептуальная модель и методика синтеза указанных мер. Подход положен в основу создания национального стандарта.

Введение. Современное состояние информационной безопасности (ИБ) компьютерных систем характеризуется превалированием угроз, связанных с наличием в системах как незакрытых известных, так и неизвестных уязвимостей. В то же время в стране фактически отсутствует регламентация безопасной разработки программных средств, ориентированная на снижение количества уязвимостей ИБ, формируемых на различных этапах жизненного цикла программ [1]. В этом плане остается нерешенным вопрос проведения как спецэкспертиз (лицензирования) предприятий, так и проверки производств (сертификации) серийных программных изделий по требованиям безопасности информации [2]. Указанное определяет исследовательскую задачу, состоящую в анализе и синтезе комплекса механизмов (мер и средств) по разработке безопасного программного обеспечения (ПО), решение которой представлено в данной работе.

Концептуальная модель выбора механизмов безопасной разработки. В ходе выполнения исследования на основе существующих стандартов и методологий разработки безопасного ПО было синтезировано множество $B = \{\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta 28\}$ требований по разработке безопасного ПО [3].

В целях разработки концептуальной модели введем ряд множеств.

При описании среды разработки ПО следует определить следующие множества:

– множество $U = \{u_1, u_2, \ldots, u_a\}$ — множество угроз ИБ, которые являются актуальными для среды разработки ПО;

– множество $P = \{p_1, p_2, \ldots, p_a\}$ — множество идентифицированных положений политик ИБ, которым должна соответствовать среда разработки ПО.

Для достижения идентифицированных политик безопасности и нейтрализации идентифицированных угроз ИБ следует сформировать множество целей разработки безопасного ПО $O = \{o_1, o_2, \ldots, o_a\}$.

Разработчик из определенного ранее множества для своей конкретной инфраструктуры может выбрать подмножество требований, подлежащих выполнению: $R = \{r_1, r_2, \ldots, r_d\}$, $R \subseteq B$, $d \leq 28$.

Для выполнения идентифицированных требований разработчик ПО может сформировать и реализовать в среде разработки ПО комплекс мер разработки безопасного ПО, а именно: множество $C = \{c_1, c_2, \ldots, c_e\}$.

Введем следующие отображения:

– F_O: $U \cup P \rightarrow O$ — процедура формирования целей разработки;

– F_R: $B \cup O \rightarrow R$ — процедура выбора требований по разработке;

– F_C: $R \rightarrow C$ — процедура синтеза мер разработки безопасного ПО.

Разработанная концептуальная модель характеризуется кортежем $\langle B, U, P, O, R, F_O, F_R, F_C \rangle$.

Мы предполагаем, что все требования являются нефункциональными (являются аналогами требований доверия по ISO 15408-3). В ходе проведения исследования была разработана общая методика анализа и синтеза мер разработки безопасного ПО, включающая выполнение следующих этапов (и шагов):

Этап 1. Идентификация и описание аспектов безопасности среды.

Этап 2. Формирование и обоснование множества целей разработки.

Этап 3. Выбор и обоснование требований по разработке.

Этап 4. Синтез и обоснование мер разработки безопасного ПО.

Выводы. В ходе проведенных исследований были получены следующие основные результаты:

1. Выполнен анализ существующих мер и подходов, направленных на уменьшение количества уязвимостей в разрабатываемом ПО и их применимости при проведении сертификации ПО. Установлено, что на сегодняшний момент существует ряд стандартов, посвященных вопросам разработки безопасного ПО [4–8]. Вместе с тем в настоящее время не существует единого подхода, закрепленного в нормативном документе и обеспечивающего:

– интеграцию с существующими стандартами, определяющими процессы жизненного цикла программ (например, ISO 12207) [9];

– обоснованный выбор мер разработки безопасного ПО;

– проведение оценки соответствия процессов создания программных изделий требованиям разработки безопасного ПО, в первую очередь в рамках обязательной сертификации серийных программных средств защиты информации (при аттестации производства) и обязательного лицензирования таких видов деятельности, как производство программных средств защиты информации.

2. На основе анализа, систематизации и обобщения стандартов в области разработки безопасного ПО разработан базовый набор требований по разработке безопасного ПО. Отличительными особенностями разработанного базового набора требований являются:

– наличие перекрестных ссылок на процессы жизненного цикла ПО, определенные ISO 12207, что обеспечивает более простую интеграцию в уже существующие в организации-разработчике ПО процессы разработки ПО;

– наличие требований к документированным свидетельствам выполнения требований и действиям независимого оценщика, что позволяет детерминировать процесс независимой оценки соответствия процессов разработки ПО требованиям разработки безопасного ПО, например, в рамках испытаний ПО.

3. Предложена концептуальная модель анализа и синтеза мер разработки безопасного ПО, которая обеспечивает возможность обоснованного выбора мер разработки безопасного ПО и обладает свойством согласованности со стандартами линейки Common Criteria. Это позволяет выполнить внедрение предложенной в рамках модели методики анализа и синтеза комплекса мер разработки безопасного ПО в организациях, уже имеющих опыт проведения сертификации разрабатываемого ПО в соответствии с методологией ISO 15408.

Эффективность подхода в общем виде подтверждена статистикой сертификационных испытаний [10]. Данный подход лег в основу разработки проекта национального стандарта ГОСТ Р.

Библиографический список

1. Марков, А. С. Оценка соответствия средств защиты информации требованиям по безопасности информации: смена парадигмы / А. С. Марков // Информационные технологии и системы : тр. Четвертой Междунар. науч. конф. / отв. ред.: Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск, 2015. С. 134–136.
2. Барабанов, А. В. Методический аппарат анализа и синтеза комплекса мер разработки безопасного программного обеспечения / А. В. Барабанов, А. С. Марков, В. Л. Цирлов // Програм. продукты и системы. 2015. № 4. С. 166–174.
3. Барабанов, А. В. 28 магических мер разработки безопасного программного обеспечения / А. В. Барабанов, А. С. Марков, В. Л. Цирлов // Вопр. кибербезопасности. 2015. № 5 (13). С. 2–10.
4. Biró, M. Synergies Between the Common Criteria and Process Improvement / M. Biró, B. Molnár // LNCS. 2007. № 4764. P. 31–45.
5. Howard, M. The Security Development Lifecycle: A Process for Developing Demonstrably More Secure Software / M. Howard, S. Lipner. Microsoft Press, 2006. 352 p.
6. Kara, M. Review on Common Criteria as a Secure Software Development Model [Электронный ресурс] / M. Kara // IJCSIT. 2012. Vol. 4, № 2. P. 83–94. DOI: http://dx.doi.org/10.5121/ijcsit.2012.4207
7. McGraw, G. Software security and the building security in maturity model (BSIMM) / G. McGraw // J. of Computing Sciences in Colleges. 2015. № 30 (3). P. 7–8.
8. Рибер, Г. Многоуровневый подход к оценке безопасности программных средств / Г. Рибер, К. Малмквист, А. Щербаков // Вопр. кибербезопасности. 2014. № 1 (2). С. 36–39.
9. Липаев, В. В. Развитие базовых стандартов программной инженерии / В. В. Липаев // Програм. инженерия. 2012. № 6. С. 2–7.
10. Barabanov, A. Synthesis of Secure Software Development Controls [Электронный ресурс] / A. Barabanov, A. Markov, A. Fadin, V. Tsirlov, I. Shakhalov // Proceedings of the 8th International Conference on Security of Information and Networks (Sochi, Russian Federation, September 08–10, 2015). SIN ‘15. N. Y., 2015. P. 93–97. DOI: http://dx.doi.org/10.1145/2799979.2799998.

Сведения об авторах

Марков Алексей Сергеевич — доктор технических наук, старший научный сотрудник, президент НПО «Эшелон». am@cnpo.ru

Рауткин Юрий Владимирович — кандидат технических наук, эксперт НПО «Эшелон». mail@cnpo.ru

A. S. Markov, Y. V. Rautkin

ISSUES OF SECURE SOFTWARE DEVELOPMENT STANDARDIZATION

The problem of development of secure software and modern standards relating to the identification of vulnerabilities are considered. The proportional relationship the secure software and maturity of the organization is shown. The review of corporate standards of the secure software development is done. The set of security measures harmonized with ISO 15408 is substantiated. The conceptual model and methods of synthesis of these measures are proposed. It is shown that this approach now is the basis for the creation of a national standard.

ББК Х401.114
УДК 342.95

А. Р. Саляхова

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НОРМАТИВНО-ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ БАЗЫ В ОБЛАСТИ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Рассматривается нормативно-правовая база Российской Федерации и Республики Башкортостан в области защиты информации в государственных информационных системах (ГИС), анализируется зарубежный опыт в данной сфере. Приводятся мероприятия, которые предписывается проводить операторам ГИС, возникающие при этом сложности и пути их решения.

Информатизация государства и общества предполагает разработку и внедрение электронного правительства в целях повышения эффективности, оперативности и удобства взаимодействия органов государственной власти и местного самоуправления, а также обеспечения организаций и граждан государственными и муниципальными услугами и информатизации о результатах деятельности органов государственной власти и местного самоуправления.

Государственные информационные системы (ГИС) создаются в целях реализации полномочий государственных органов и обеспечения обмена информацией между этими органами, а также в иных установленных федеральными законами целях.

В соответствии с Федеральным законом от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» государственные информационные системы — это федеральные информационные системы и региональные информационные системы, созданные на основании соответственно федеральных законов, законов субъектов Российской Федерации, правовых актов государственных органов [1].

Государственная информационная система должна быть внесена в Реестр федеральных государственных информационных систем, с содержанием которого можно ознакомиться на официальном сайте Роскомнадзора [2].

Современные представления о ГИСах и их роли в современном информационном обществе, концепции их дальнейшего развития предполагают все большую вовлеченность ГИСов в структуру информационного обмена федерального и регионального уровня. На ГИСы возлагается большая ответственность, им уделяется значительное внимание с целью создания высокотехнологичного электронного взаимодействия. Соответственно повышаются и требования к ГИСам в области защиты информации. Необходимость принятия мер по повышению уровня защиты информационных ресурсов органов государственной власти и органов местного самоуправления — задача, определенная в Концепции региональной информатизации, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 29 декабря 2014 г. № 2769-р [3], и Концепции развития механизмов предоставления государственных и муниципальных услуг в электронном виде, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 25 декабря 2013 г. № 2516-р [4].

Концепция государственной доверенной инфокоммуникационной инфраструктуры (ГДИИ) Республики Башкортостан также предъявляет высокие требования в области защиты информации ко всем компонентам ГДИИ, в том числе и к ГИСам, как к одному из основных компонентов ГДИИ.

Согласно Федеральному закону № 149-ФЗ, государственные органы, определенные в соответствии с нормативным правовым актом, регламентирующим функционирование государственной информационной системы, обязаны обеспечить достоверность и актуальность информации, содержащейся в информационной системе, доступ к указанной информации в случаях и в порядке, предусмотренных законодательством, а также защиту указанной информации от неправомерного доступа, уничтожения, модифицирования, блокирования, копирования, предоставления, распространения и иных неправомерных действий [1].

Зарубежный опыт обеспечения информационной безопасности в государственных информационных системах можно рассмотреть на примере США как лидера в области компьютерных технологий. Разработкой стандартов, в том числе в области информационной безопасности, занимается Национальный институт стандартов и технологий США (NIST — National Institute of Standards and Technology) [5]. Документ, разработанный для контроля безопасности и приватности федеральных информационных систем и организаций, носит название NIST Special Publication 800-53 “Security and Privacy Controls for Federal Information Systems and Organizations” [6].

В документе приводится модель управления безопасностью — The Risk Management Framework (RMF), которая представляет собой цикл из таких процессов, как категорирование информационных систем — выбор мер защиты — внедрение мер защиты — оценка мер защиты — одобрение мер защи-

ты — мониторинг мер защиты (рисунок). Подчеркивается, что стандарт NIST 800-53 фокусируется на шаге 2 модели — выборе мер защиты.

В России относительно недавно появился документ, определяющий требования к обеспечению защиты информации ограниченного доступа, обрабатываемой в государственных информационных системах. Эти требования устанавливаются приказом Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК России) № 17 от 11 февраля 2013 г. «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» [7; 8].

Согласно этим требованиям, для проведения работ по защите информации в ходе создания и эксплуатации ГИС обладателем информации и оператором должны привлекаться организации, имеющие лицензию на деятельность по технической защите конфиденциальной информации, а применяемые средства защиты информации должны быть сертифицированы на соответствие требованиям безопасности информации [9].

Для обеспечения защиты информации операторам ГИС предписывается проводить следующие мероприятия:

1) формирование требований к защите информации, содержащейся в ГИС;

2) разработка системы защиты информации ГИС;

3) внедрение системы защиты информации ГИС;

4) аттестация ГИС по требованиям защиты информации и ввод ее в действие;

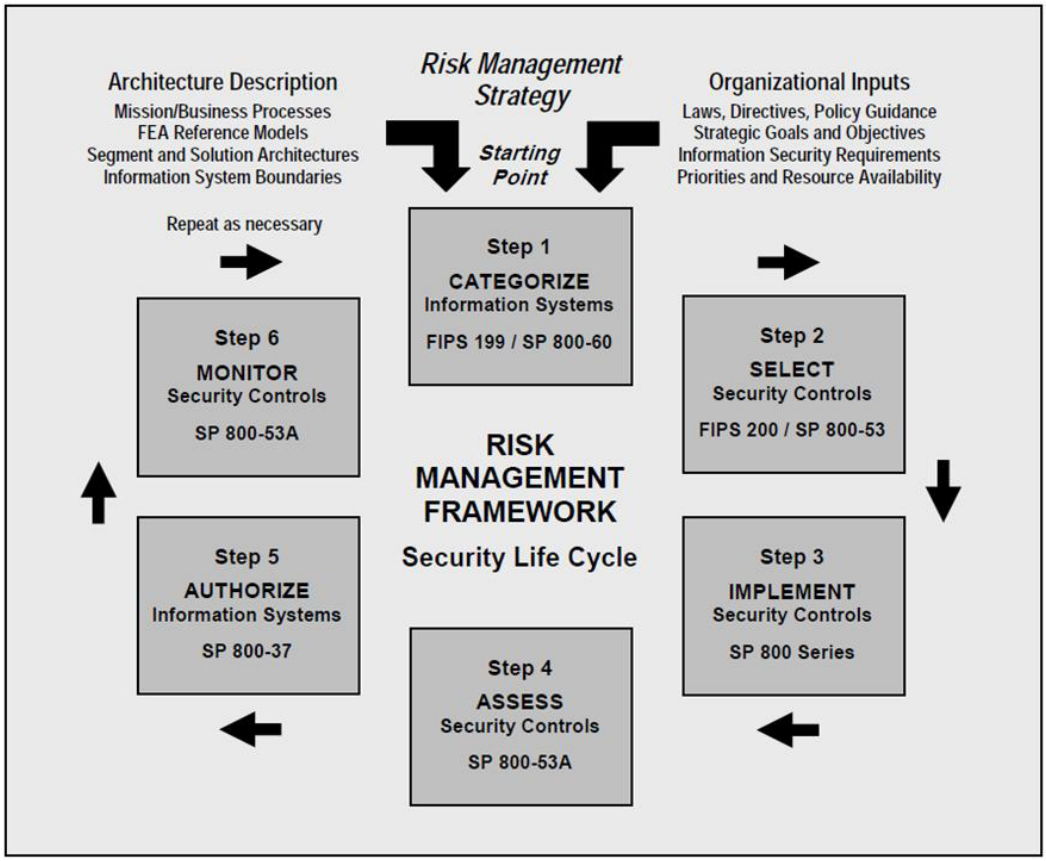
5) обеспечение защиты информации в ходе эксплуатации аттестованной ГИС;

6) обеспечение защиты информации при выводе из эксплуатации аттестованной ГИС или после принятия решения об окончании обработки информации.

Класс защищенности информационной системы (К1–К4) определяется в зависимости от уровня значимости информации (УЗ), обрабатываемой в этой информационной системе, и масштаба информационной системы (федеральный, региональный, объектовый).

Устанавливаются четыре класса защищенности информационной системы (первый класс (К1), второй класс (К2), третий класс (К3), четвертый класс (К4)), определяющие уровни защищенности содержащейся в ней информации. Самый низкий класс — четвертый, самый высокий — первый.

Угрозы безопасности информации (УБИ) определяются по результатам оценки возможностей (потенциала, оснащенности и мотивации) внешних и внутренних нарушителей, анализа возможных уязвимостей информационной системы, возможных способов реализации угроз безопасности информации и последствий от нарушения свойств безопасности информации (конфиденциальности, целостности, доступности).



Модель управления безопасностью NIST

Для выбора и реализации мер защиты ФСТЭК разработан методический документ от 11 февраля 2014 г. «Меры защиты информации в государственных информационных системах» [10].

Согласно этому документу, в ГИС подлежат реализации следующие меры защиты информации:

– идентификация и аутентификация субъектов доступа и объектов доступа;

– управление доступом субъектов доступа к объектам доступа;

– ограничение программной среды;

– защита машинных носителей информации;

– регистрация событий безопасности;

– антивирусная защита;

– обнаружение (предотвращение) вторжений;

– контроль (анализ) защищенности информации;

– обеспечение целостности информационной системы и информации;

– обеспечение доступности информации;

– защита среды виртуализации;

– защита технических средств;

– защита информационной системы, ее средств и систем связи и передачи данных.

Поскольку для защиты информации в ГИС и для защиты информационных систем обработки персональных данных (ИСПДн) существуют разные нормативные документы, то может возникнуть вопрос — какими же документами руководствоваться при обработке в ГИС персональных данных.

Ответ на этот вопрос дает информационное письмо ФСТЭК № 240/22/2637 от 15 июля 2013 г. [11], в соответствии с которым для обеспечения безопасности персональных данных при их обработке в ГИС, а также для определения класса защищенности ГИС, в которой обрабатываются персональные данные, достаточно руководствоваться только требованиями, утвержденными приказом ФСТЭК России № 17 от 11 февраля 2013 г. [7].

Также документ поясняет, что решение по форме оценки эффективности реализованных мер для ИСПДн принимается оператором самостоятельно, в то же время для ГИС, в которых обрабатываются персональные данные, оценка эффективности принимаемых мер по обеспечению безопасности проводится в рамках обязательной аттестации ГИС.

Следует отметить, что вопросы формирования нормативно-законодательной базы в отношении построения ГИС, включая вопросы обеспечения их информационной безопасности, являются предметом пристального внимания субъектов Российской Федерации. Так, в исполнение государственной программы РФ «Информационное общество (2011–2020 годы)», утвержденной Постановлением Правительства РФ № 133 от 15 апреля 2014 г. [12], а также государственной программы «Развитие информационного общества Республики Башкортостан на 2012–2017 годы», утвержденной Постановлением Правительства Республики Башкортостан (РБ) № 251 от 20 июля 2012 г. [13] в РБ принята «Концепция государственной доверенной инфокоммуникационной инфраструктуры Республики Башкортостан», утвержденная Постановлением Правительства РБ № 408 от 25 сентября 2015 г. [14]

В целом анализ существующей нормативно-законодательной базы в области построения ГИС и обеспечения их информационной безопасности показывает, что сегодня сложились вполне определенные требования к созданию и функционированию этих систем, учитывающие специфику данного класса систем, согласованные с требованиями международных и национальных стандартов в области защиты информации, включая требования к защите персональных данных.

Библиографический список

1. Федеральный закон № 149-ФЗ от 27 июля 2006 г. «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».

2. Реестр федеральных государственных информационных систем [Электронный ресурс]. URL: http://rkn.gov.ru/it/register/

3. Распоряжение Правительства РФ № 2769-р от 29 декабря 2014 г. «О Концепции региональной информатизации».

4. Распоряжение Правительства РФ № 2516-р от 25 декабря 2013 г. «О Концепции развития механизмов предоставления государственных и муниципальных услуг в электронном виде».

5. Румянцев, И. ИБ по-американски. Ч. 1 : Что такое NIST 800-53 и как выглядят контроли безопасности? [Электронный ресурс] / И. Румянцев. URL: http://habrahabr.ru/post/238245

6. NIST Special Publication 800-53. Revision 4. Security and Privacy Controls for Federal Information Systems and Organizations. National Institute of Standards and Technology, 2013. 457 p.

7. Требования о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах : приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю № 17 от 11 февраля 2013 г.

8. Прозоров, А. Новый подход ФСТЭК vs NIST 800-53 [Электронный ресурс] / А. Прозоров // Информационная безопасность. URL: http://www.securitylab.ru/blog/personal/80na20/35540.php

9. Прозоров, А. Приказ 17: на что обратить внимание? [Электронный ресурс] / А. Прозоров. URL: http://bis-xpert.ru/blog/2560/42597

10. Меры защиты информации в государственных информационных системах : метод. док. М. : ФСТЭК России, 2014. 176 с.

11. Информационное сообщение Федеральной службы по техническому и экспортному контролю от 15 июля 2013 г. № 240/22/2637.

12. Постановление Правительства РФ № 133 от 15 апреля 2014 г. «Об утверждении государственной программы Российской Федерации “Юстиция”».

13. Постановление Правительства Республики Башкортостан № 251 от 20 июля 2012 г. «О Государственной программе “Развитие информационного общества в Республике Башкортостан”».

14. Постановление Правительства Республики Башкортостан № 408 от 25 сентября 2015 г. «Концепция государственной доверенной инфокоммуникационной инфраструктуры Республики Башкортостан».

Сведения об авторе

Саляхова Альбина Рифовна — специалист по информационной безопасности, программист кафедры вычислительной техники и защиты информации Уфимского государственного авиационного технического университета. sa_bina@bk.ru

---

A. R. Salyakhova

THE CURRENT STATE OF NORMATIVE-LEGAL BASE IN THE FIELD OF INFORMATION PROTECTION IN FEDERAL INFORMATION SYSTEMS

The normative-legal base in the field of information protection in federal information systems (FIS) is considered, the foreign experience in this sphere is analyzed. The requirements that FIS operators have to perform, the corresponding difficulties arising here and the ways of their solution are discusses.

ББК 3973.2-018.1
УДК 004.4’2

А. С. Субхангулова

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА СТАДИИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-08-97036

Описывается новый подход к оцениванию количества дефектов в компонентах программных систем, основанный на использовании линейной функциональной зависимости между показателями сложности программной компоненты и числом дефектов. Предлагаемый подход позволяет разработать формализованную процедуру расчета ожидаемого количества дефектов, что делает возможным реализацию на ее основе инструментального программного средства в составе систем автоматизированного проектирования программных продуктов.

Проблема в сфере информационных технологий состоит в том, что программисты «живут» в своем мире, понять который удается далеко не всем. К тому же человечество вошло в эру излишней информатизации, которую невозможно оценить однозначно как положительную или отрицательную [1]. Сегодня трудно представить жизнь без компьютера. Однако компьютеризация полезна в «малых дозах», а когда она излишняя, то возникает проблема, связанная с тем, что и люди, как машины, начинают мыслить алгоритмами. Отсюда возникает вопрос: как найти грань, где уменьшать или прекращать эту информатизацию?

Управления дефектами — это один из важных моментов при проектировании и производстве как изделий, так и программных продуктов. Управление подразумевает цель, принятие решений, реализацию решений. Цель любого управления есть эффективное управление, то есть получение желаемого при минимальных затратах ресурсов. Миссией управления дефектами является обеспечение соответствия потребительских свойств информационных продуктов и услуг потребностям и ожиданиям пользователей.

Реализация программного продукта есть многостадийный процесс, и дефекты на разных стадиях имеют разную природу. Причем дефекты, которые допускаются на ранних стадиях создания программных продуктов (ПП), являются наиболее дорогостоящими [2].

К настоящему времени много внимания уделяется проблематике управления дефектами, когда программный продукт представлен в виде алгоритма либо программных кодов. На самом деле область поиска дефектов должна быть гораздо шире, поскольку дефекты могут закладываться задолго до того, как программа реализована в виде программных кодов. Однако сегодня не сформирована целостная теория, направленная на управление дефектами на ранних стадиях создания ПП. В работе [3] отмечается, что при проектировании основным способом управления дефектами является следование стандартам, типовым способам решения. Однако в [ESA-PSS-05-0; 5 и др.] подчеркивается слабая применимость стандартов на стадии формирования концепции ПП, а также специфицирования требований пользователей. В связи с этим научный и практический интерес представляет развитие формальных моделей для описания ПП на ранних стадиях жизненного цикла, а также методической, теоретической и инструментальной основы для управления дефектами.

Один из основных вопросов, связанных с управлением дефектами, является соотношение негативных последствий от проявлений дефекта с затратами на его локализацию и устранение, а именно: должен быть разумный баланс между негативными последствиями проявления дефекта и затратами, связанными с локализацией и устранением дефекта.

В известной литературе [3; 4] постулируется положение о наличии линейной зависимости между показателями сложности компонентов программных систем и количеством дефектов проектирования. Однако использование традиционных подходов к построению эмпирических линейных регрессионных моделей в случае количественного оценивания дефектов в модулях оказывается неприемлемым, поскольку возникает проблема формирования корреляционной таблицы. Отмеченные обстоятельства обосновывают необходимость разработки метода оценивания количества дефектов в программных компонентах на основе исторических данных о ранее выявленных дефектах и количественной характеристике сложности программных модулей в случае независимой регистрации зависимых и независимых случайных величин.

В [5; 6] предложен метод оценивания функциональных зависимостей при отсутствии корреляционной таблицы. В основе метода лежит решение обратной задачи оценивания функции случайного аргумента, описанной в работе [7]. Данный метод позволяет разработать инструментальное средство для оценки ожидаемого количества дефектов в программной компоненте на основе архивных данных, число которых, как правило, невелико [8].

В качестве метрики сложности возможно использование различных метрик, таких как метрика *Halstead*, где в основе лежит подсчет количества операторов и операндов, используемых в программе, то есть определение размера программы, либо метрика *Jilb*, в которой логическая сложность программы определяется через выражения *IF_THEN_ELSE*, либо показатель *McCabe*, который косвенно характеризует возможное количество дефектов в модуле, либо др. [9]. Рассмотренные выше метрики сложности программы ориентируются на формальный анализ исходных структурных схем алгоритмов и текстов программ, что делает возможным автоматизацию расчета показателей сложности. В работе выбор остановился на использовании цикломатического показателя *McCabe*. Выбор обоснован тем, что он описан в нормативном документе [ESA-PSS-05-10], а также тем, что предполагает достаточно простую вычислительную процедуру. Однако эта метрика имеет ограничение индекса — весь ПП нужно представить на одном уровне абстракции — либо на функциональном, либо на операторном.

Разработку ПП осуществляли, придерживаясь стандартов. Но учитывая, что задача является исследовательской, разработкой стал прототип ПП.

Требования к информационной поддержке представляются так, что на их основе должна быть предоставлена возможность реализовать программный модуль, который может использоваться в качестве компоненты в составе САПР ПО. Функциональные требования должны обеспечивать реализацию задачи прогнозирования количества дефектов. Нефункциональные требования должны формироваться с учетом особенностей конкретной САПР.

Разработанный продукт является автономным, поэтому ограничения на интерфейс отсутствуют. Он считается исследовательским.

Предлагаемый метод реализуется в среде визуального программирования *Microsoft Visual Studio* 2010 *Express* на языке *C#*.

Интерфейс взаимодействия пользователя с прикладным программным продуктом показан на рис. 1.

Для работы программы пользователю необходимо ввести либо данные с клавиатуры, соответствующие

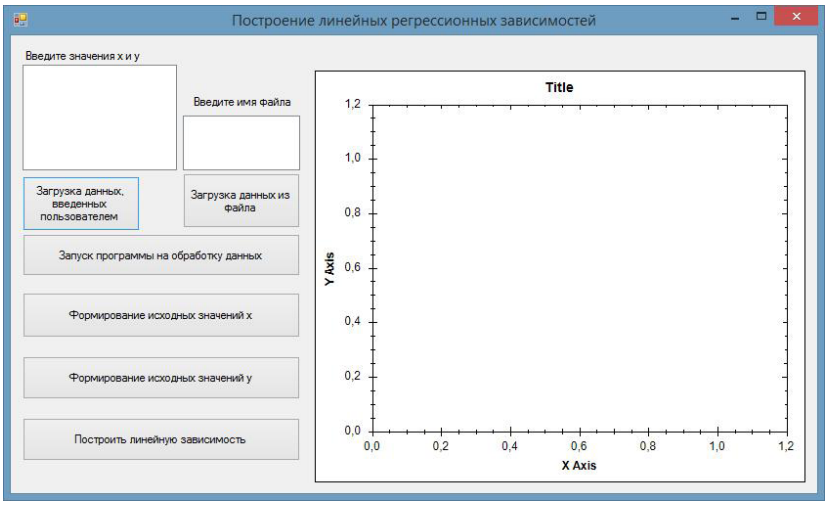


Рис. 1. Интерфейс взаимодействия пользователя с прикладным программным продуктом

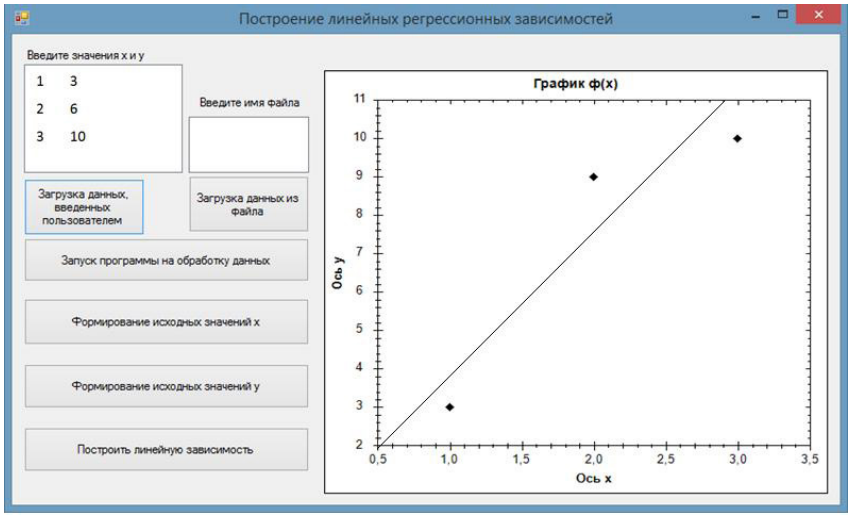


Рис. 2. Построение линейной функциональной зависимости и расчет ожидаемого числа дефектов

значениям x и y, либо имя файла, в котором находятся данные. Это осуществляется благодаря полям «Введите значения x и y» (причем вводить следует сначала значение x, а затем y) и «Введите имя файла». После этого следует нажать на кнопки «Загрузка данных, введенных пользователем» или «Загрузка данных из файла» для того, чтобы загрузки данных в программу.

На рис. 2 приведен пример построения линейной функциональной зависимости при значениях параметров $x = 1; 2; 3; y = 3; 6; 10$.

Из приведенных рисунков видно, что результаты работы программы совпадают с теоретически рассчитанными.

Предлагаемый метод позволил разработать формализованную процедуру расчета ожидаемого количества дефектов, что сделало возможным реализацию на ее основе прототипа инструментального программного средства. Полученные результаты позволяют сделать заключение об адекватности расчетных и фактических данных.

Библиографический список

1. Коротков, А. С. Архитектура предприятия: (Как заставить ИТ работать на вашу компанию?) [Электронный ресурс] / А. С. Коротков. 2013. URL: http://andrey-korotkov.ru/wp-content/uploads/2013/02/andrey-korotkov.ru_Enterprise_architecture.pdf
2. Макконнелл, С. Сколько стоит программный проект / С. Макконнелл. СПб. : Питер, 2007. 297 с.
3. Липаев, В. В. Надежность программного обеспечения / В. В. Липаев. М. : СИНТЕГ, 1998. 222 с.
4. Мороз, Г. Б. Определение целей и задач инженерии надежности программного обеспечения / Г. Б. Мороз, Г. И. Коваль, Т. М. Коротун // Проблемы программирования. 1997. Т. 1. С. 98–106.
5. Гвоздев, В. Е. Анализ линейных связей при независимой регистрации значений случайных параметров объекта / В. Е. Гвоздев, А. С. Субхангулова, О. Я. Бежаева // Вестн. УГАТУ. 2015. Т. 19, № 2 (68). С. 1–12.
6. Subhangulova, A. S. Analysis of linear relations objects random parameters on the basis of measurement data / A. S. Subhangulova, V. E. Gvozdev, O. Y. Bezhaeva // Proceedings of the 16th Workshop on Computer Science and Information Technologies. Sheffield, England, 2014. Vol. 2. P. 13–15.
7. Пугачев, В. С. Теория вероятностей. Математическая статистика / В. С. Пугачёв. 2-е изд. М. : Физматлит, 2002. 496 с.
8. Гвоздев, В. Е. Оценка количества дефектов в программных модулях на основе показателей сложности / В. Е. Гвоздев, А. С. Субхангулова, О. Я. Бежаева // Информационные технологии и системы : тр. Четвертой Междунар. науч. конф., Банное, Россия, 25 февр.— 1 марта 2015 г. (ИТиС – 2015) : науч. электрон. изд. / отв. ред. Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2015.
9. URL: www3.msiu.ru/~vag4/lec2MPO.DOC

Сведения об авторе

Субхангулова Алия Салаватовна — аспирант кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. aliyasr21@gmail.com

---

A. S. Subhangulova

INSTRUMENTAL SUPPORT DETECTION OF DEFECTS IN THE IMPLEMENTATION PHASE OF SOFTWARE PROJECTS

A new approach to estimating the number of defects in software systems components based on the use of the linear functional relationship between indicators of the complexity of software components and the number of defects is described. The proposed approach allows the development of a formalized procedure for the calculation of the expected defects number, which makes it possible to implement on the basis of its development software as a part of computer-aided design software products.

ББК Ч402.8
УДК 371.26

Р. З. Шангареев, А. Д. Мечинзов, А. А. Зырянова

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТЕСТОВОМ КОНТРОЛЕ ЗНАНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Рассматриваются уровни формирования режима информационной безопасности, влияющие на разрабатываемую систему защиты. Приводятся классификация угроз, оценка рисков информационной безопасности. Представлены меры обеспечения безопасности процедур тестирования.

В последнее время в российских образовательных учреждениях широко применяются тестовые технологии оценки знаний обучающихся.

При подготовке и проведении контроля знаний студентов вуза с использованием тестовых технологий возникает вопрос об обеспечении информационной безопасности процедуры тестирования, которое может быть бланковым и компьютерным.

В зависимости от форм контроля процесс тестирования можно разделить на следующие виды:

1) очное бланковое или компьютерное тестирование в присутствии контролирующего физического лица — наблюдателя, преподавателя, администратора (наиболее надежный способ оценки знаний на основе тестовых технологий);

2) дистанционное тестирование без физического присутствия наблюдателя, но контролируемое с помощью программно-технических средств (аутентификация личности тестируемого, использование средств видеонаблюдения и др.);

3) персональное дистанционное тестирование без непосредственного или удалённого средства контроля за процессом тестирования, в котором идентификация личности и доступ к тестам осуществляется только за счет индивидуальных логина и пароля;

4) открытое дистанционное тестирование на основе самостоятельной регистрации обучающихся через специальную форму на сайте образовательного учреждения (используется в основном для самоконтроля) [2].

При подготовке и проведении различных видов тестирования возникает вопрос об обеспечении информационной безопасности процедуры тестирования.

Информационная безопасность (ИБ) — это состояние защищенности информационной среды организации, обеспечивающее ее функционирование и развитие в соответствии с целями и задачами.

Построение системы информационной безопасности процедур тестирования предполагает четыре уровня защиты информации (рис. 1):

Рис. 1. Обеспечение информационной безопасности процедур тестирования

– нормативно-правовой — это защита информации, базирующаяся на применении статей конституции и законов государства, положений гражданского и уголовного кодексов и других нормативно-правовых документов в области информатики, информационных отношений и защиты информации. Правовая защита информации регламентирует права и обязанности субъектов информационных отношений, правовой статус органов, технических средств и способов защиты информации и является основой для морально-этических норм в области защиты информации;

– предметно-содержательный — это разработка и реализация специфических мероприятий, учитывающих особенности защищаемых процедур тестирования, включающих вид вопросов, их количества, порядка следования и т. д.;

– организационно-административный — это комплекс направлений и методов управленческого, ограничительного и технологического характера, определяющих основы и содержание системы защиты, побуждающих персонал соблюдать правила защиты конфиденциальной информации;

– программно-технический — это программное обеспечение, технические устройства, узлы, элементы как в виде отдельных средств, так и встроенных в процесс единого технологического цикла процедур тестирования [1].

Важной целью организационно-административного уровня обеспечения информационной безопасности является выявление и анализ угроз информационной безопасности, которые составляют основу разрабатываемой системы защиты и состав механизмов ее реализации.

Изучение потенциальных угроз информационной безопасности и уязвимостей защиты системы требуется для выбора более экономичных и эффективных средств обеспечения безопасности.

Угрозы информационной безопасности можно разделить по нескольким признакам:

– по составляющим информационной безопасности (доступность, целостность, конфиденциальность), против которых в первую очередь направлены угрозы;

– по компонентам информационных систем, на которые угрозы нацелены (данные, программы, аппаратура, персонал);

– по характеру воздействия (случайные или преднамеренные, действия природного или техногенного характера);

– по расположению источника угроз (внутри или вне рассматриваемой информационной системы) [1].

Обеспечение информационной безопасности процедур тестирования требует регламентации угроз, способствующих возникновению рисков, нарушающих требования к конфиденциальности, целостности и доступности информации, связанной с оценкой знаний обучающихся на основе тестовых технологий.

Цель процесса оценивания рисков состоит в определении характеристик рисков по отношению к информационной системе и ее ресурсам (активам). На основе полученных данных могут быть выбраны необходимые средства защиты. При оценивании рисков учитываются многие факторы: ценность ресурсов, оценка значимости угроз, уязвимостей, эффективность существующих и планируемых средств защиты и многое другое.

Идентификация риска заключается в составлении перечня и описании элементов риска: объектов защиты, угроз, уязвимостей (рис. 2).

Исходя из вышеизложенного для обеспечения безопасности процедур тестирования необходимо:

1) провести анализ подлежащих защите информационных ресурсов;

2) выявить угрозы безопасности процедур тестового контроля и вероятность их возникновения;

3) разработать методику оценки ущерба от реализации выявленных угроз.

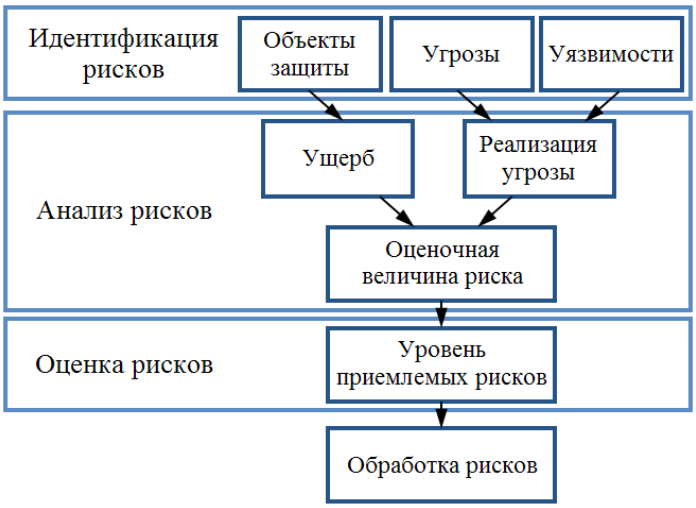


Рис. 2. Процесс оценки рисков информационной безопасности

4) разработать методы защиты для каждой угрозы и оценить их стоимость;

5) разработать модель оптимальной системы защиты процедур тестового контроля.

Библиографический список

1. Баранова, Е. К. Информационная безопасность и защита информации : учеб. пособие / Е. К. Баранова, А. В. Бабаш. 2-е изд. М. : РИОР : Инфра-М, 2014. 256 с.
2. Батурин, Н. А. Российский стандарт тестирования персонала (временная версия, созданная для широкого обсуждения в 2015 году) [Электронный ресурс] / Н. А. Батурин, Е. В. Вучетич, С. Н. Костромина [и др.] // Организац. психология. 2015. Т. 5, № 2. С. 67–138.
3. Гузаиров, М. Б. Системный анализ информационных рисков с применением нечетких когнитивных карт / М. Б. Гузаиров, В. И. Васильев, Р. Т. Кудрявцева // Инфокоммуникац. технологии. 2007. Т. 5, № 4. С. 96–101.
4. Морев, И. А. Образовательные информационные технологии. Ч. 2 : Педагогические измерения : учеб. пособие / И. А. Морев. Владивосток : Изд-во Дальневост. ун-та, 2004. 174 с.
5. Розанова, Л. Ф. Применение вероятностно-статистических методов для классификации надежности объектов экономической деятельности / Л. Ф. Розанова, Э. И. Исламова, Р. З. Шангареев // Intelligent Technologies for Information Processing and Management (ITIPM'2015), Russia, Ufa, 10–12 November, 2015. Ufa. 2015. Vol. 1. P. 163–167.

Сведения об авторах

Шангареев Рамзил Зифелович — магистрант 1-го года обучения Уфимского государственного авиационного технического университета. rmsrb@mail.ru

Мечинзов Александр Дмитриевич — магистрант 1-го года обучения Уфимского государственного авиационного технического университета. mech.alex@icloud.ru

Зырянова Александра Андреевна — студентка 3-го курса обучения Уфимского государственного авиационного технического университета. arget111@gmail.ru

---

R. Z. Shangareev, A. D. Mechinzov, A. A. Zyryanova

PROVISION OF INFORMATION SECURITY UNDER TEST CONTROL OF STUDENTS' KNOWLEDGE

The article deals with the formation of the levels of information security regime affecting the developed system of protection, provides a classification of threats, information security risk assessment. Presented security measures testing procedures.

ББК У291.216с5
УДК 658.5

Е. М. Абакумов, Н. О. Кожевников, С. Е. Сбитнев

СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ КАК ЭЛЕМЕНТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Рассматривается элемент системы управления производством современного предприятии приборостроительной отрасли России — система сбора данных о состоянии технологического процесса для механообработки, исследуются варианты реализации и приводятся оценки эффективности внедрения информационной системы.

Проблема управления современным производством на российских приборостроительных предприятиях достаточно широко рассматривается профессиональным сообществом [3; 4]. Авторы совместно с коллегами также посвятили проблемам развития информационных систем на промышленных предприятиях ряд публикаций, например [2; 5; 6], уделяя внимание вопросам развития производственных систем [1]. Совмещение серийного и опытного производства на многих предприятиях приборостроительной отрасли России накладывает дополнительные требования к системе управления — невозможно или нерационально сделать жесткую, конвейерную систему автоматизации управления. Широкая номенклатура изготавливаемых изделий приводит к необходимости решения оптимизационной задачи: повышение себестоимости за счет увеличения количества переналадок и, соответственно, подготовительно-заключительного времени партии или увеличение размеров партии и создание значительных производственных запасов и незавершенного производства. Как и для массового производства, расчет пооперационного расписания с поминутной точностью требует высокой точности пооперационных норм времени и целесообразен только на отдельных участках, производящих большие объемы продукции (например, механические участки или участки изготовления деталей из пластмасс), с локализацией производства в пределах одного помещения с целью сокращения времени межоперационного пролеживания. Расчет производственного расписания на других участках или при межцеховой кооперации может проводиться с точностью до 1 дня, что примерно соответствует времени межоперационных переходов при ручном способе транспортировки. Позаказный учет приводит к необходимости применения расчетов базы распределения затрат для снижения подготовительно-заключительного времени объединенной партии при ее принадлежности к различным заказам с учетом технологического отхода на различных стадиях производственного процесса. Алгоритм позаказного учета материалов для механических деталей при условии различных сортаментов материалов и невозможности полного его использования (технологического отхода заготовительной операции), а также технологического отхода на различных стадиях производственного процесса, обеспечивающий максимальное использование материала и корректное разнесение затрат, в известной литературе не описан. В таких условиях на передний план выступает необходимость актуальной диспетчерской информации по обеспечению обратной связи по выполнению производственных заданий различными производственными центрами, как универсальными, так и с ЧПУ. Многие предприятия обладают широкой гаммой оборудования с ЧПУ, однако не всегда существует возможность обеспечить получение данных об обработке непосредственно со стоек ЧПУ. В этой ситуации возникает необходимость использования внешних устройств контроля оборудования с ЧПУ и диспетчирования операций с применением технологий идентификации партий и операций. Алгоритмы интеграции внешних систем мониторинга оборудования с ЧПУ и систем пооперационного диспетчирования в современной литературе не приводятся. Это можно объяснить различным функциональным назначением систем: система мониторинга оборудования с ЧПУ предназначена для контроля состояния станка и не отвечает за то, какая номенклатура продукции на станке изготавливается, а система диспетчирования не знает о состоянии станка. Таким образом, одной из задач исследования является построение алгоритмов взаимодействия систем диспетчирования операций на основе сопроводительных документов и систем мониторинга оборудования с ЧПУ с целью повышения эффективности процесса информационного обеспечения сотрудников производственных подразделений. Критерием эффективности в этом случае будет время, затрачиваемое сотрудником (мастером, рабочим, инженером по подготовке производства) на выяснение информации о состоянии производственного процесса. Задача оптимизации может быть сформулирована следующим образом:

$$T = \min f\left(t_1, \ldots, t_i\right),$$

где t_i — время, затрачиваемое на поиск информации о состоянии изготовления отдельным сотрудником.

Сегодня широкое применение начинают находить системы мониторинга оборудования с ЧПУ, например типа Foreman или «Диспетчер». Данные

системы интегрируются в стойки станка: стойки ЧПУ при возможности такой интеграции или энергошкаф при закрытости кодов конкретной системы ЧПУ. Следует отметить, что основные производители оборудования с ЧПУ предлагают свои системы мониторинга, годящиеся только для станков данного производителя, однако в российских реалиях они редко приобретаются, прежде всего из за разнородности используемого станочного парка ЧПУ вследствие многопрофильности российских предприятий, а также закрытости западных разработчиков. Внешние же системы не могут взять полностью информацию со стойки и определяют состояние станка по косвенных признакам — измеряя ток, мощность и напряжения, дают возможность судить о ряде состояний станка, а также предоставляют возможность ввода причин остановов посредством кнопок или сканера штрихкодов, соединенных в сеть. Принципиальным недостатком такого рода систем является отсутствие информации о производственной позиции (номере партии, номенклатуре, плановом задании, заказе и др.) в системе мониторинга.

Данная информация может быть получена из системы диспетчирования при интеграции информационной системы мониторинга оборудования и диспетчирования. При этом обратная связь обеспечивает систему диспетчирования сведениями о промежуточных состояниях изготовления партии деталей на станке.

Поведение рабочих и мастера в рамках производственного участка может быть описано моделью игры Байеса [Новиков]:

– множество агентов (рабочих) N;

– множество K' возможных типов агентов (например, характеризующихся разрядом рабочих), где тип i-го агента $k_i \in K_i$, $i \in N$, вектор типов $k = (k_1, k_2, \ldots, k_n) \in K' = \prod_{i \in N} K_i$;

– множеством $X' = \prod_{i \in N} X_i$ допустимых векторов действий агентов;

– набором функций полезности u_i: $K' \cdot X' \to R^1$;

– представлениями $\mu_i(\cdot \mid k_i) \in \Delta(K_i)$, $i \in N$ агентов.

Равновесие Байеса — Нэша в игре с неполной информацией определяется как набор стратегий агентов вида $\sigma_i : K_i \to X_i$, $i \in N$, которые максимизируют ожидаемые полезности

$$Ui\left(ki, \sigma i(\cdot), \sigma - i(\cdot)\right) =$$

$$= \int\limits_{ki \in \prod Ki} ui\left(k, \sigma i(ki), \sigma_i\left(k_{-i}\right)\right) \mu_i\left(k_{-i} | k_i\right) dk_{-i}, i \in N.$$

Байесова игра предполагает, что представления агентов являются общим знанием. Таким образом, достаточным условием является согласованность представлений агентов, которая в случае информационной системы мониторинга станка значительно повышается из определенности модели получения информации агентами и сообщения агенту функции ответа центра на его действия по обработке деталей.

При реализации задачи повышения согласованности в системе мониторинга оборудования можно получить информацию о реквизитах производственной партии (заказ, плановое задание, номера извещений об изменении конструкторской и технологической документации) как на экране с онлайн-информацией, так и на экране с ретроспективной информацией об изготовлении.

При реализации интеграции были зафиксированы и реализованы различные состояния, такие как работа по программе, простой по внешней причине, отсутствие оснастки и инструмента и др., как регистрируемые системой в автоматическом режиме, так и после ручного введения причин простоя. Система позволяет ввести неограниченное число причин простоя, однако авторами рекомендуется минимизировать количество причин простоя с целью построения сбалансированной системы по реагированию на непроизводительные состояния. Так, причинам технологического характера в соответствие должны быть поставлены параметры заработной платы технологов, причины, связанные с недополучением инструмента, оснастки, материала или КД,— балансироваться планово-диспетчерскими органами, простои связанные с ремонтами,— отделами главного механика или службой по ремонту электронной части. Таким образом, должны отсутствовать состояния, которые не привязаны к функциональным обязанностям соответствующих структурных единиц. Кроме того, на первом этапе внедрения основной задачей может считаться минимизация «красных» состояний станка (простой без объяснения причин). На показатель минимизации такой причины должны быть завязаны премиальные выплаты рабочему, который вводит эти состояния. Таким образом, ввод системы мониторинга даст возможность получения корректной информации о состоянии изготовления только при построении сбалансированной организационно-технической системы.

Идентификация сотрудников в системе проводится при помощи уникальных идентификаторов, реализованных на базе штрихкодов. Штрихкодами защищены также коды причин простоев.

Система диспетчирования операций дает возможность формирования сменного задания на базе информации о назначенных для исполнения конкретному рабочему производственных заданий. Сменное задание может формироваться автоматизированно при условии организационного требования по назначению выполняемых заданий перед началом смены, причем может формироваться задание обеспечивающим службам на подготовку материалов, оснастки, инструмента и документации для выполнения назначенной производственной операции. Таким образом, может быть сокращено время подготовительно-заключительных операций при изготовлении партии ДСЕ.

Библиографический список

1. Абакумов, Е. М. Особенности системы управления производством на предприятии приборостроения: опыт собственной разработки системы / Е. М. Абакумов, Н. О. Кожевников // Информационные и математические технологии в науке и управлении : тр. XX Байкал. Всерос. конф. Иркутск : Ин-т систем энергетики им. Л. А. Мелентьева СО РАН, 2015. С. 51–57.

2. 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. VII Междунар. конф. : в 2 т. / Ин-т проблем упр. им. В. А. Трапезникова РАН ; под общ. ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. М., 2013. С. 20–29.

3. Фролов, Е. Б. Оперативно-календарное планирование и диспетчирование в MES-системах / Е. Б. Фролов, Р. Р. Загидуллин // Станоч. парк. 2008. № 11 (56). С. 22–27.

4. Ицкович, Э. Л. Особенности систем класса MES производства технологического типа, обеспечивающие необходимую эффективность их функционирования / Э. Л. Ицкович // Автоматизация в пром-сти. 2015. № 2. С. 3–10.

5. Абакумов, Е. М. Создание интегрированной системы разработки сложных наукоёмких изделий предприятия приборостроительного профиля / Е. М. Абакумов, О. В. Ульянин, Д. Б. Козырев, В. К. Козачок // Информ. технологии в проектировании и пр-ве. 2014. № 4. С. 10–16.

6. Абакумов, Е. М. Информационная система управления инженерными данными как инструмент принятия решений в организационной модели предприятия / Е. М. Абакумов, Н. О. Кожевников, О. В. Ульянин // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS&RRS’2014) : сб. материалов Второй междунар. конф. Уфа : УГАТУ, 2014. Т. 1. С. 140–147.

Сведения об авторах

Абакумов Евгений Михайлович — кандидат технических наук, начальник отделения информационных технологий Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н. Л. Духова, Москва. abakumov@vniia.ru

Кожевников Николай Орестович — начальник научно-исследовательского отдела Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н. Л. Духова, Москва. kno@vniia.ru

Сбитнев Сергей Евгеньевич — заместитель начальника научно-исследовательского отдела Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н. Л. Духова, Москва. sbitnev@vniia.ru

---

E. M. Abakumov, N. O. Kozhevnikov, S. E. Sbitnev

THE SYSTEM FOR COLLECTION AND TREATMENT TECHNOLOGICAL PROCESS DATA AS PART OF THE MANUFACTURY EXECUTION SYSTEM

The paper is about part of manufactory execution system for modern instrument-making enterprise — the system for collection and treatment technological process data for machining process. The paper considers variant of implementation and gives the estimation of effect by information system.

ББК С543.172-3
УДК 378.180.6:316

С. В. Алюков

АНАЛИЗ ДАННЫХ В ВЫЯВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫХ ЦЕННОСТЕЙ СОВРЕМЕННЫХ СТУДЕНТОВ

Исследуется система жизненных ценностей современной студенческой молодежи на основе методов дисперсионного анализа, многомерного шкалирования и методов кластерного анализа.

Современный мир молодого человека резко отличается от реалий прошлых лет. Доступность информации, свобода выбора направлений деятельности, открытость современных социальных систем, противоречивость общественных тенденций трансформируют представления студенческой молодежи о жизненных ценностях, создавая существенные отличия этих представлений от представлений их сверстников еще десяти-пятнадцатилетней давности [1]. Поэтому реформирование системы организации учебного процесса в высшей школе должно в обязательном порядке учитывать представления современных студентов о системе жизненных ценностей, пытаясь в необходимых случаях гибко их скорректировать, в других — подстроиться под них.

Для выявления существующих закономерностей автором было проведено социологическое исследование. Для опроса была взята выборка, включающая в себя двадцать шесть студентов пятого года обучения. Список пятнадцати переменных состоял из следующих ценностей: «Семья», «Дружба», «Здоровье», «Работа и карьера», «Деньги», «Любовь», «Образование», «Религия», «Экология», «Безопасность», «Стабильность», «Досуг», «Престиж», «Спорт», «Власть». Студентам было предложено ранжировать предложенные ценности по 15-балльной шкале, начиная с наименее важных на их взгляд. Данные опроса представлены в табл. 1.

Обработка исходных данных проводилась на основе компьютерной программы SPSS, разработанной в США и на сегодняшний день являющейся самой популярной в развитых странах для обработки информации (в США 90–95 % информации обрабатывается с помощью этой программы).

Анализ средних значений предложенных переменных (табл. 2) показывает, что категории семьи, любви и дружбы по-прежнему остаются вечными и наиболее важными для молодежи. Важными являются также категории здоровья, работы и карьеры, денег. Образование не входит в число приоритетных, а занимает средние позиции вместе с такими категориями, как стабильность, досуг, безопасность. Очевидно, что образование не рассматривается студентами в качестве очень важной составляющей жизни, во многом определяющей дальнейшую судьбу. Отметим, что, несмотря на всяческое постулирование современными средствами массовой информации важности достижения личного успеха, категории престижа и власти не рассматриваются современными студентами как важные в системе жизненных ценностей. Замыкает список категория религии, которая, несмотря на усилия средств массовой информации, не только не становится ведущей, но и сколько-нибудь значимой в жизни современных студентов.

Применение критерия Колмогорова — Смирнова показывает, что распределение для некоторых исходных переменных отличается от нормального. Поэтому при проведении дисперсионного анализа используем непараметрический метод Фридмана для нескольких зависимых переменных. Итоговые результаты анализа приведены в табл. 3.

Как видим, уровень значимости для коэффициента хи-квадрат гораздо меньше порогового значения 0,05, что говорит о значимом различии средних значений для системы жизненных ценностей в целом. Применение параметрического метода ANOVARM дает аналогичный результат, например, по наиболее надежному критерию Pillai's Trace (табл. 4), для которого уровень значимости (Sig.) гораздо меньше 0,05. Впрочем, остальные параметрические критерии также показывают значимое различие для всей совокупности жизненных ценностей.

Для попарного сравнения категорий применяем непараметрический метод Вилкоксона. Этот метод показывает отсутствие значимого различия для следующих пар переменных: «Любовь — Дружба»; «Любовь — Здоровье»; «Любовь — Работа»; «Дружба — Здоровье»; «Дружба — Работа»; «Здоровье — Работа»; «Здоровье — Деньги»; «Здоровье — Стабильность»; «Работа — Деньги»; «Работа — Стабильность»; «Деньги — Стабильность»; «Деньги — Образование»; «Деньги — Досуг»; «Стабильность — Образование»; «Стабильность — Досуг»; «Образование — Досуг»; «Досуг — Безопасность»; «Безопасность — Спорт»; «Спорт — Престиж»; «Спорт — Власть»; «Престиж — Власть»; «Престиж — Экология»; «Власть — Экология»; «Экология — Религия». Для всех остальных пар переменных программа определила значимое различие в средних оценках студентов.

С целью снижения числа переменных мы можем попытаться применить факторный анализ [2]. Однако попытка такого применения показывает, что значение критерия Кайзера — Мейера — Олкина составляет

Таблица 1

№ п/п	Семья	Дружба	Здоровье	Работа и карьера	Деньги	Любовь	Образование	Религия	Экология	Безопасность	Стабильность	Досуг	Престиж	Спорт	Власть
1	12	11	15	14	13	10	4	2	1	3	8	7	9	6	5
2	12	11	10	13	9	13	8	1	2	4	14	5	6	7	3
3	15	6	14	13	5	7	9	1	3	10	12	11	2	8	4
4	15	6	14	13	5	7	9	1	3	10	12	11	2	8	4
5	15	12	10	13	9	11	14	1	2	6	7	8	5	4	3
6	10	15	9	14	13	2	12	1	5	6	7	11	4	8	3
7	11	13	6	10	8	9	12	1	3	15	14	4	5	2	7
8	14	13	6	5	7	15	4	11	8	3	12	10	1	9	2
9	15	9	13	4	11	14	5	6	3	8	2	10	7	12	1
10	15	13	12	9	7	14	10	3	6	8	5	2	1	11	4
11	14	12	13	11	10	15	8	1	6	4	9	7	2	5	3
12	15	9	14	10	12	13	11	3	2	8	7	4	5	1	6
13	12	11	3	14	5	13	6	1	2	5	15	10	8	4	7
14	15	14	11	8	10	13	12	6	5	9	4	7	3	2	1
15	15	13	12	10	9	14	11	1	2	6	8	7	3	5	4
16	15	12	11	13	10	14	5	2	4	7	9	8	6	1	3
17	15	14	11	9	13	12	5	2	1	4	10	7	8	3	6
18	15	13	9	14	8	11	12	1	2	4	7	3	6	5	10
19	14	12	13	6	8	15	5	1	3	10	11	9	4	2	7
20	15	11	13	14	3	10	9	8	5	7	4	6	1	12	2
21	8	14	12	15	10	13	4	5	1	3	2	6	7	11	9
22	14	7	9	13	12	15	8	3	2	10	11	5	8	4	6
23	11	14	8	6	4	15	10	1	7	9	13	12	3	5	2
24	15	14	8	9	10	13	7	1	2	5	12	11	6	4	3
25	9	15	14	12	11	10	13	3	4	5	6	7	2	8	1
26	15	11	7	4	14	12	13	3	6	5	10	8	2	9	1

Таблица 2

Категория	Среднее	Стандартное отклонение
Семья	13,50	2,140
Любовь	11,92	3,097
Дружба	11,73	2,539
Здоровье	10,65	3,032
Работа, карьера	10,62	3,407
Деньги	9,08	2,992
Стабильность	8,88	3,681
Образование	8,69	3,197
Досуг	7,54	2,716
Безопасность	6,69	2,909
Спорт	6,00	3,370
Престиж	4,46	2,486
Власть	4,12	2,487
Экология	3,46	1,964
Религия	2,69	2,558

Таблица 3

N	26
Chi-Square	206.794
df	14
Asymp. Sig.	.000

a Friedman Test

лишь 0,131, что указывает на непригодность исходных данных для проведения факторного анализа.

Многомерность исходных данных не позволяет непосредственно представить их в графическом виде. Тем не менее, пользуясь методами многомерного шкалирования [3], мы можем наглядно представить исследуемые ценности в виде точек на плоскости, применяя в полной мере преимущество графического представления информации — наглядность. Такое представление позволит также оценить близость ценностных категорий по отношению друг к другу. Важно отметить, что многомерное шкалирование позволяет не только учесть значения средних показателей, но и их дисперсию. Результат выполнения многомерного анализа изображен на рис. 1.

Для метода многомерного шкалирования направление осей не является важным. Важным является расположение точек, соответствующих тем или иным ценностям, по отношению друг к другу. Те ценности, которые на рис. 1 расположены близко друг к другу, являются примерно одинаковыми по важности в представлении студентов, и наоборот, ценности, расположенные далеко друг от друга, сильно отличаются по своей важности. Мы видим, что на противоположных полюсах на горизонтальной оси находятся такие группы переменных, как «Любовь», «Дружба», «Семья», с одной стороны и «Престиж», «Власть», «Экология», «Религия» — с другой. По вертикальной оси резко отличаются переменная «Стабильность» и группа ценностей, включающая переменные «Спорт» и «Здоровье».

Анализ результатов многомерного шкалирования показывает, что, сознавая важность такой жизненной ценности, как здоровье, студенты не видят ее связи с категорией «экология», что указывает на необходимость усиления экологического направления в образовании, воспитании экологической культуры у студентов российских вузов. Тем более, что низкий уровень экологической культуры выявлен в выборке, представляющей студентов факультета «Экономика и предпринимательство», а ведь предполагается, что студенты таких факультетов в первую очередь будут создавать новые предприятия, рабочие места. Если при этом они не будут заботиться о сохранении экологии, то бессмысленно будет говорить о важности такой категории, как «здоровье».

Кроме того, можно отметить, что, выделяя в шкале приоритетных ценностей категории любви, дружбы и семьи, студенты не увязывают их с категорией «религия», не видя ее влияния на укрепление семейных и дружеских уз. Отметим также, что, если по средним значениям (см. табл. 2) категории «стабильность» и «безопасность» отличаются не сильно, то анализ по методу многомерного шкалирования достаточно значительно разделяет эти категории. Более того, категория «стабильность», как видно на рис. 1, значительно отличается от всех других категорий. Это указывает на большой разброс значений по этой категории в ответах студентов. Действительно, как видно из табл. 2, стандартное отклонение для переменной «Стабильность» имеет самое большое значение. Для кого-то из студентов эта категория является очень важной, для кого-то практически совершенно не важной.

Для более полного представления реальной картины жизненных ценностей в представлениях современных студентов проведем кластерный анализ [4]. Основная цель кластерного анализа — разбить респондентов на кластеры (группы), так, чтобы ре-

Таблица 4

Effect	Test	Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Категория	Pillai's Trace	.992	111.263(a)	14.000	12.000	.000
	Wilks' Lambda	.008	111.263(a)	14.000	12.000	.000
	Hotelling's Trace	129.806	111.263(a)	14.000	12.000	.000
	Roy's Largest Root	129.806	111.263(a)	14.000	12.000	.000

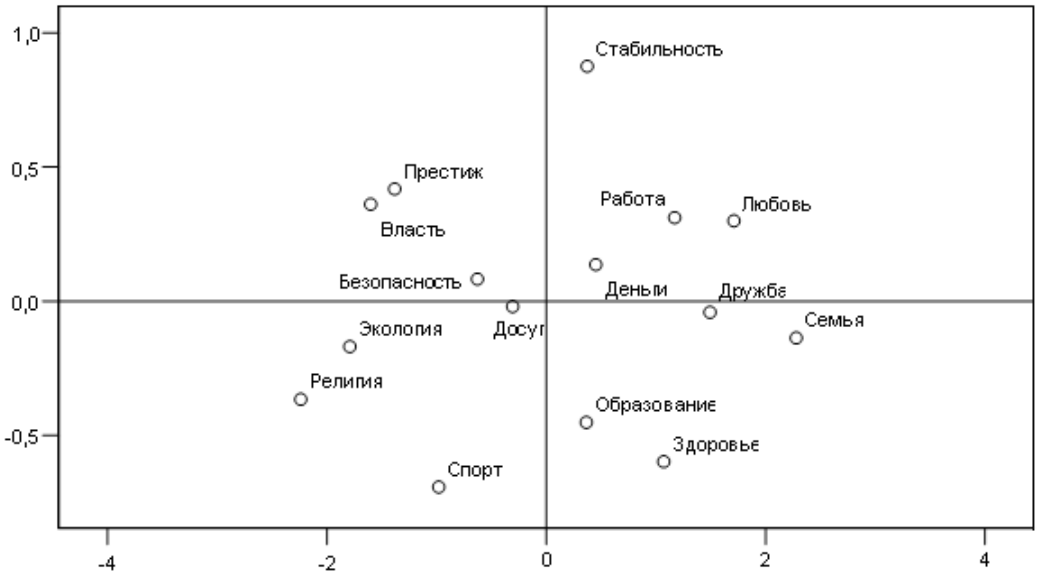


Рис. 1. Соотношение ценностных категорий по результатам многомерного шкалирования

спонденты, попадающие в один кластер, были близки в своих жизненных ценностях, а попадающие в разные кластеры — сильно отличались в своих жизненных приоритетах. Важно также не просто разбить респондентов на кластеры, но и выявить, чем эти кластеры отличаются, дать характеристику выявленным кластерам.

Кластерный анализ проведем по методу Варда, позволяющему формировать сферические, компактные кластеры с минимально возможной дисперсией. В качестве меры близости выберем наиболее популярную — квадрат расстояния Евклида. Оптимальное число кластеров определим по дендрограмме, построенной с помощью программы SPSS и изображенной на рис. 2.

Анализ дендрограммы показывает, что в качестве оптимального разбиения студентов можно взять разбиение студентов на пять кластеров. Для понимания различий между кластерами сравним средние значения результата опроса по кластерам и по переменным (табл. 5). Самым малочисленным является третий кластер. В него вошли только два человека. Для них важными являются такие жизненные ценности, как семья, здоровье, безопасность, досуг, в то время как дружба, деньги, любовь, религия, престиж их заботят мало. Следующим по численности (4 человека) является первый кластер. Студенты этого кластера важными считают работу и карьеру, деньги, у них пониженные требования к экологии, безопасности и стабильности. Вместе с тем эти студенты являются приверженцами таких ценностей, как дружба и спорт. Пятый кластер включает 5 человек, для которых важны религия, экология, спорт, у них отмечены низкие оценки переменных «Власть», «Работа и карьера».

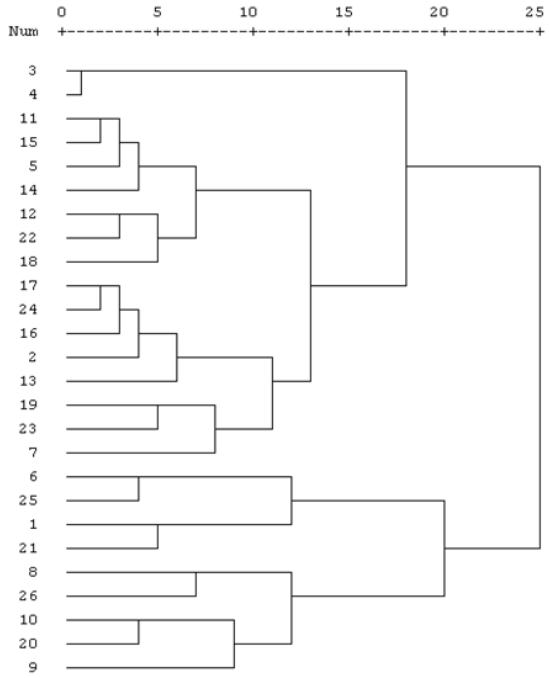


Рис. 2. Дендрограмма для определения оптимального числа кластеров

Самыми многочисленными и поэтому заслуживающими особого внимания являются второй (8 человек) и четвертый (7 человек) кластеры. Студенты, входящие во второй кластер, выделяют как особо важные для себя, такие жизненные ценности, как власть, престиж, стабильность. Но в достижении этих целей они не видят важности таких категорий, как образование, здоровье и спорт. Учитывая многочисленность этой группы, понимаем, что, к сожалению, образование

Таблица 5

Ward Method	Семья	Дружба	Здоровье	Работа и карьера	Деньги	Любовь	Образова-ние	Религия	Экология	Безопас-ность	Стабиль-ность	Досуг	Престиж	Спорт	Власть
1	9,75	13,75	12,50	13,75	11,75	8,75	8,25	2,75	2,75	4,25	5,75	7,75	5,50	8,25	4,50
2	13,13	12,63	8,75	10,00	8,38	13,00	7,25	1,25	3,00	7,38	12,25	8,25	5,75	3,50	4,75
3	15,00	6,00	14,00	13,00	5,00	7,00	9,00	1,00	3,00	10,00	12,00	11,00	2,00	8,00	4,00
4	14,71	11,43	11,14	11,29	10,00	13,14	10,86	2,29	3,00	6,71	7,57	5,86	4,57	3,71	4,71
5	14,80	11,40	10,20	7,20	8,40	13,00	8,20	6,20	5,60	6,20	6,60	7,20	2,40	10,60	2,00

для значительного количества молодых людей не рассматривается как приоритетное направление их жизни.

Для студентов четвертого кластера, наоборот, наиболее важным жизненным ориентиром, наряду с любовью, является образование, интерес к организации своего досуга у них весьма низок. Учитывая, что в этот кластер также входит значительная доля опрошенных, делаем вывод о резком разделении представлений молодых людей в вопросе важности образования.

Выводы:

1. В целом важность образования не рассматривается молодыми людьми как приоритетный фактор их жизни. Вместе с тем, по сравнению с 1990 гг., касательного этого вопроса все же наметился коренной перелом в сознании молодых людей. Несмотря на достаточно большое количество молодых людей, невысоко оценивающих важность образования, есть довольно многочисленная среди них группа, которая, наоборот, видит образование в числе своих жизненных приоритетов.

2. Понимая важность категории «здоровье», студенты, к сожалению, не видят связи этой категории с экологической составляющей, что говорит о необходимости воспитания экологической культуры у студентов, разработки и проведения в рамках высшей школы учебных курсов, направленных на повышение экологических знаний у студентов и понимания их важности.

3. Отдавая предпочтение в системе своих жизненных ценностей таким вечным категориям, как семья, любовь, дружба, студенты не видят практически никакой роли религии в укреплении институтов семьи и дружественных связей. Здесь же отметим, что по сравнению с перечисленными категориями (семья, любовь и дружба) такие категории, как власть и престиж, в целом не рассматриваются студентами как важные.

4. Те же студенты, которые отдают предпочтение категориям власть и престиж, не видят связи этих категорий с переменными «Образование», «Здоровье», «Спорт». Особенно отметим отсутствие связи с категорией «образование». Путь к властным полномочиям и престижу эти студенты видят не через подъем своего образовательного уровня, а, вероятно, каким-то иным образом.

Библиографический список

1. Сафьянов, В. И. О мировоззренческих основах формирования специалиста / В. И. Сафьянов // Высш. образование в России. 2010. № 6. С. 116–119.
2. Бююль, А. SPSS: искусство обработки информации: анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей / А. Бююль, П. Цефель. СПб. : ДиаСофт, 2005. 608 с.
3. Дейвисон, М. Многомерное шкалирование: методы наглядного представления данных / М. Дейвисон. М. : Финансы и статистика, 1988. 254 с.
4. Гитис, Л. Х. Статистическая классификация и кластерный анализ / Л. Х. Гитис. М. : МГГУ, 2003. 156 с.

Сведения об авторе

Алюков Сергей Викторович — доктор технических наук, доцент кафедры международного менеджмента Южно-Уральского государственного университета, Челябинск. alysergey@gmail.com

---

S. V. Alyukov

DATA ANALYSIS IN REVEALING OF MODERN STUDENTS' LIFE VALUES

In this paper we study the system of social values of contemporary college students on the basis of methods of variance analysis, multidimensional scaling, and cluster analysis.

ББК К235.16в6
УДК 621.762

И. М. Березин, А. Г. Залазинский, А. В. Нестеренко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛАСТОСТАТИЧЕСКОГО КОМПАКТИРОВАНИЯ ПОРОШКООБРАЗНОГО ТИТАНОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ

Рассматривается процесс компактирования отсева титановой губки в толстостенной полиуретановой оболочке. Для описания реологического течения уплотняемой титановой массы используется модифицированная модель текучести Друкера — Прагера. Материал эластомера описан моделью гиперупругой среды Муни — Ривлина. Приведено сравнение полей распределения объемной пластической деформации в осевом сечении заготовки при эластостатическом компактировании и аналогичной детали, полученной методом прессования в закрытой матрице.

При совершенствовании технологии изготовления деталей из некомпактного металлического сырья необходимо исследование свойств, связанных с их необратимой сжимаемостью и повышением плотности. Одним из перспективных и малоизученных процессов уплотнения порошковых материалов является изостатическое компактирование эластичными средами. Эластомеры (каучуки, полиуретаны и т. д.) могут претерпевать большие деформации (несколько сотен процентов) без разрушения и повреждения структуры материала. Эластостатическое компактирование позволяет автоматизировать производственный процесс, использовать универсальное оборудование и оснастку, осуществлять различные схемы напряженно-деформированного состояния. Развитие технологии компактирования эластичными средами требует теоретического анализа процесса, изучения влияния изостатического давления на сопротивление деформации и уплотняемость некомпактных материалов в процессах пластического течения. В то же время возможности современных пакетов инженерного анализа позволяют исследовать влияние различных технологических аспектов при пластической обработке уплотняемых металлических материалов на свойства продукции без проведения дорогостоящих производственных экспериментов. Компьютерное моделирование открывает перспективы для совершенствования процессов уплотнения порошковых материалов путем подбора оптимальных схем напряженно-деформированного состояния еще на стадии разработки технологии производства.

Целью работы является исследование процесса компактирования заготовки из титановой губки в условиях неравномерного всестороннего сжатия эластичной средой.

Постановка задачи

В качестве материала исследования использованы частицы отсева титановой губки марки ТГ-ОП-1 (рис. 1), содержащей согласно ТУ 1715–484–05785388–2005 примеси, массовых %: 0,24 Fe; 0,064 Mg; 0,025 Ni; 0,041 Cr, а также газовые примеси в количестве 0,089 Cl; 0,007 N; 0,041 O; 0,007 C.

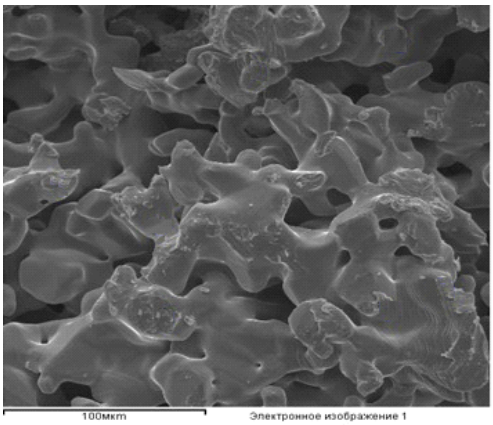


Рис. 1. Характерный фрагмент структуры частицы титановой губки

Гранулометрический состав соответствовал частицам, габариты которых имели размеры от 2 до 5 мм. Температура титановой губки при компактировании составляет 325 °С. Выбор указанной температуры обусловлен тем, что при данных условиях загрязнения титана атмосферными газами еще не происходит, при этом в титане наблюдается снижение сопротивления деформации и влияния деформационного упрочнения [1].

Схема процесса компактирования показана на рис. 2. Здесь радиус контейнера R = 15 мм, внутренний радиус эластичной втулки R_1 = 10 мм, высота насыпки титановой губки H = 56 мм, Δh_z — перемещение пуансона (жесткое нагружение). Конечные размеры цилиндрической заготовки после операции компактирования: радиус R^* = 8,3 мм, высота H^* = 45 мм. Начальная относительная плотность титановой губки $\rho_{отн}$= 0,52. Теоретическая плотность компактного титана $\rho_{теор}$= 4 540 кг/м^3. Задача решается в осесимметричной постановке. Использована модель внешнего трения Амонтона — Кулона при коэффициенте трения μ = 0,2. Для решения задачи использована система конечно-элементного анализа *Abaqus*. Сетка конечных элементов деформируемой заготовки — *CAX*4*R*, количество элементов 560 шт.

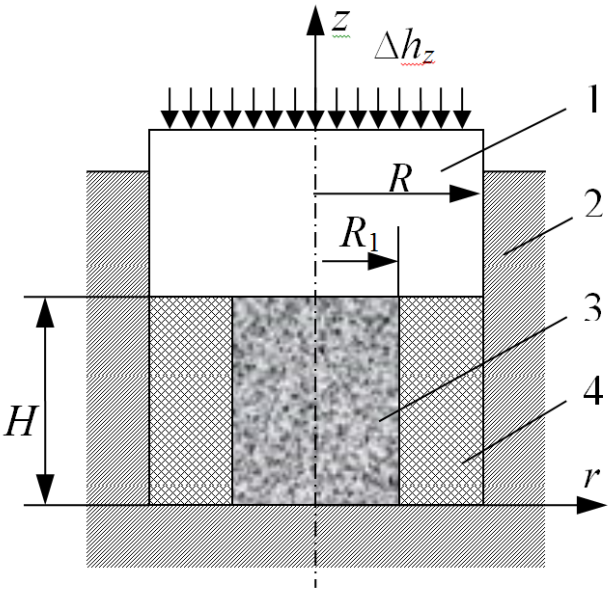


Рис. 2. Схема процесса эластостатического компактирования:
1 — пуансон; 2 — матрица; 3 — титановая губка; 4 — эластичная втулка

Сетка конечных элементов эластичной втулки — *CAX*4*RH*, количество элементов 111 шт.

Схема нагружения заключается в компактировании отсева титановой губки, заключенной в эластичную втулку, обладающей гиперупругими свойствами. Материал эластомера — *Duothan QA*965 двухкомпонентная полиуретановая композиция, устойчивая к абразивному износу и воздействию агрессивных сред. Титановая губка в процессе компактирования осаживается по высоте и создает внутреннее давление, под действием которого эластичная втулка, не имея возможности радиального перемещения в сторону матрицы, создает боковое давление на компактируемый материал.

В качестве модели материала эластомера (*Duothan QA*965) использована модель гиперупругой среды Муни — Ривлина [2]. Для гиперупругого материала Муни — Ривлина плотность энергии упругой деформации, то есть отношение энергии U к тому объему V, в котором она заключена, постулируется в виде

$$W = C_1\left(I_1(C)-3\right)+C_2\left(I_2(C)-3\right)+\frac{1}{B}(J-1)^2,$$

где C_1, C_2, J — функции состояния материала; I_1 (C), I_2 (C) — инварианты тензора деформаций Коши — Грина. Значения констант модели Муни — Ривлина для полиуретана *Duothan QA*965 [3]: C_1 = 0,3313 МПа, C_2 = 0,4425 МПа. Модуль объемной сжимаемости $k = 2 / B$, модуль сдвига $\mu = 2\,(C_1 + C_2)$. Коэффициент Пуассона принят равным $\nu = 0{,}5$ (материал несжимаем).

Для описания упругих характеристик титановой губки при компактировании использованы следующие зависимости: коэффициент Пуассона пористого материала $\nu_{пм} = \nu \cdot \rho_{отн}$, модуль Юнга пористого материала $E_{пм} = E \cdot \rho_{отн}$. Здесь E и ν соответственно модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала в беспористом состоянии. Данные зависимости коррелируют с результатами исследования упругих характеристик пористых материалов, приведенных в работе [4].

Условие текучести титановой губки описано модифицированной моделью текучести Друкера — Прагера (*Modified Drucker — Prager cap model*) [5]. Кривая текучести Друкера — Прагера состоит из трех участков (рис. 3) и описывается уравнениями

$$f_{AB} = \tau - d - \sigma \cdot tg(\beta) = 0; \quad (1)$$

$$f_{BГ} = \sqrt{(\sigma - c)^2 + \left(\frac{R}{1+\alpha-\alpha/\cos\beta}\cdot\tau\right)^2} - m = 0; \quad (2)$$

$$f_{БВ} = \sqrt{(\sigma - c)^2 + \left[\tau - \left(1-\frac{\alpha}{\cos\beta}\right)\cdot\frac{n}{\alpha}\right]^2} - n = 0, \quad (3)$$

где d — предельное сопротивление срезу, β — угол наклона образующей участка АБ в плоскости σ–τ к гидростатической оси. Функции состояния материала c, m, n могут быть выражены по формулам $c = \dfrac{p_S - Rd}{1 + R\tan\beta}$, $m = R(d + c\tan\beta)$, $n = \alpha\left(d + c\cdot tg\beta\right)$. Здесь p_s — предел текучести на всестороннее сжатие; R — эксцентриситет эллиптического участка; α — коэффициент, пропорциональный радиусу скругления между коническим и эллиптическим участками. Заметим, что $\sigma = -p$.

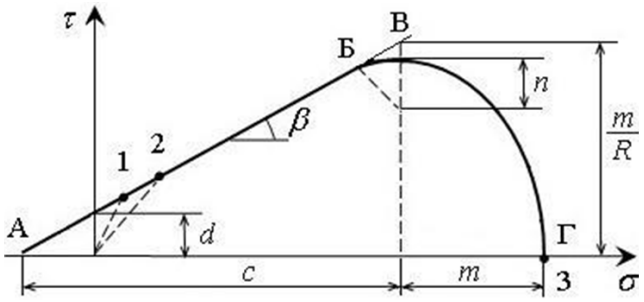


Рис. 3. Геометрическая интерпретация модели Друкера — Прагера в плоскости σ–τ и схема экспериментов по ее идентификации:
1 — радиальное сжатие; 2 — осевое сжатие; 3 — гидростатическое сжатие

Скорость пластической деформации пропорциональна напряжению в текущий момент; напряженное состояние определяет мгновенные приращения компонент пластической деформации. Для определения приращений пластической деформации $d\varepsilon_{ij}$ используется функция Φ (σ_{ij}), называемая пластическим потенциалом. В этом случае уравнения пластического течения имеют вид: $d\varepsilon_{ij}^p = d\lambda \cdot \partial\Phi/\partial\sigma_{ij}$, где $d\lambda \geq 0$ — некоторый неопределенный малый скалярный мно-

житель. Полагается, что функция пластичности и пластический потенциал совпадают, то есть $f = \Phi$. При этом выполняется ассоциированный закон пластического течения: $d\varepsilon_{ij}^{p} = d\varepsilon_{ij} = d\lambda \cdot \partial f / \partial \sigma_{ij}$.

Для идентификации параметров принятой модели и построения кривой течения, составленной из трех отрезков, каждый из которых описывается своей функцией, необходимо провести как минимум четыре эксперимента для неспеченных заготовок одинаковой исходной плотности: одноосное сжатие цилиндрических брикетов, радиальное сжатие тонких цилиндрических образцов, сжатие в закрытой пресс-форме и изостатическое прессование [6–8]. Существующие методики идентификации названного условия текучести в основном опираются на экспериментальное изучение поведения пластически сжимаемых материалов при высоких давлениях. Однако выполнение экспериментальных исследований не всегда целесообразно, а иногда и невозможно на существующем оборудовании, в особенности это относится к исследованию металлических материалов с повышенными физико-механическими свойствами.

В данной работе составную кусочно-гладкую кривую текучести Друкера — Прагера аппроксимировали функцией на основе лемнискаты Бернулли (4), что позволило уменьшить количество необходимых экспериментов:

$$\tau^* = k \cdot \left[\sqrt{2\left(\sigma^* \cdot k_3 - k_2\right)^{2k_1} + \frac{1}{4}} - \right.$$

$$\left. -\left(\sigma^* \cdot k_3 - k_2\right)^{2k_1} - \frac{1}{2} \right]^{\frac{1}{2}}, \qquad (4)$$

где τ^*, σ^* — интенсивность касательных напряжений и средне нормальное напряжение, представленные в безразмерной форме ($\tau^* = \tau / p_s$, $\sigma^* = \sigma / p_s$); $p_s(\theta)$ — предел текучести на всестороннее равномерное сжатие; θ — пористость материала; k_1, k_2, k_3 — коэффициенты, принимающие значения $k_1 = 1$, $k_2 = 0$, $k_3 = 1$, k — коэффициент, приближающий лемнискату к кривой текучести Друкера — Прагера. Отметим, что предел текучести на всестороннее растяжение порошкообразного материала принимается равным нулю, так как сцепление между частицами в начальном состоянии отсутствует и материал — некомпактен. Следовательно, для однозначной идентификации параметров исходной модели необходимо провести только два эксперимента: сжатие в закрытой пресс-форме и изостатическое прессование.

Наряду с уменьшением количества необходимых экспериментальных точек при построении кривой текучести существует возможность заменить трудоемкие физические эксперименты имитационным моделированием с применением основополагающих принципов механики структурно-неоднородных тел [9]. Суть данного подхода сводится к определению точек, необходимых для построения кривой текучести, путем моделирования пластической деформации ячеек представительного объема на основе применения численных методов. Схема нагружения ячейки представительного объема показана на рис. 4.

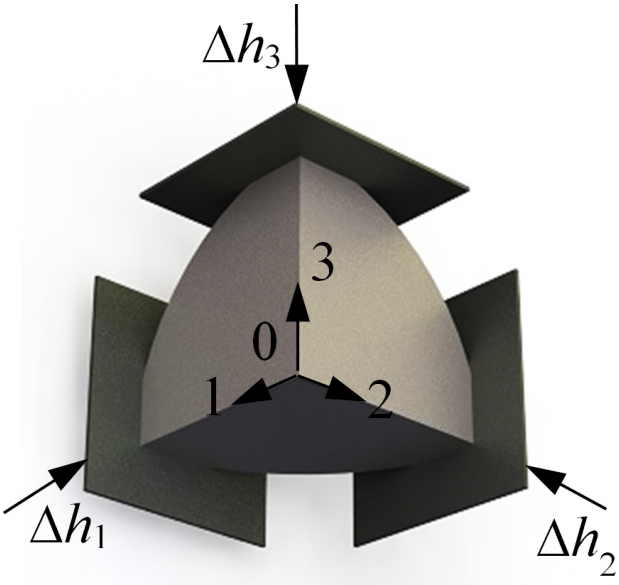


Рис. 4. Схема нагружения 1/8 части ячейки представительного объема титановой губки

Имитационное моделирование выполнили для процесса деформирования 1/8 части ячейки представительного объема. Рассматривали два случая деформирования ячейки: изостатическое прессование и сжатие в закрытой пресс-форме. Ячейка деформировалась путем жесткого нагружения — перемещения поверхностей на величину Δh_i, имитирующих воздействие окружающих ячейку соседних частиц. Диаметр ячейки 2 мм. Относительная плотность материала при выбранной схеме упаковки частиц составляет $\rho_{отн} = 0{,}52$. Модуль Юнга $E = 112$ ГПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0{,}34$.

Кривая деформационного упрочнения компактного титана при испытаниях на сжатие показана на рис. 5.

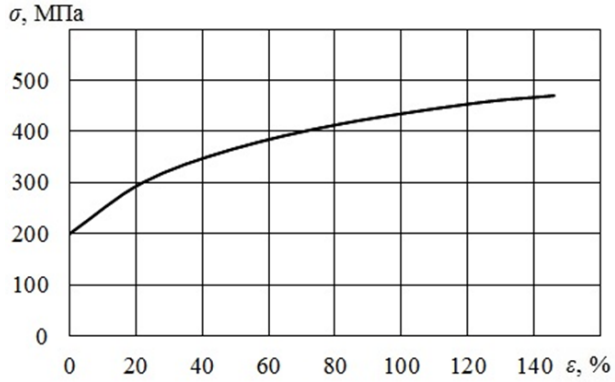


Рис. 5. Кривая деформационного упрочнения титана при температуре 325 °С [10]

Скорость деформирования ячейки υ = 2 мм/с. Силы трения между площадками контакта ячейки и вспомогательными поверхностями, не учитывались. Перемещение материала деформируемой ячейки ограничено плоскостями 1–0–2, 1–0–3, 2–0–3. Для решения задачи использована система конечно-элементного анализа *Abaqus*. Сетка конечных элементов — *C3D8R*, количество элементов 1 000 шт.

Результаты и их обсуждение

На рис. 6 показано распределение интенсивности напряжений σ_i в 1/8 ячейки представительного объема титановой губки при всестороннем равномерном сжатии и значениях объемной пластической деформации ε_v^{pl} = 0,28 и ε_v^{pl} = 0,56. Здесь $\varepsilon_v^{pl} = ln\ (V_0/V)$, где V_0 — первоначальный объем ячейки представительного объема, равный единице, V — объем ячейки после деформации.

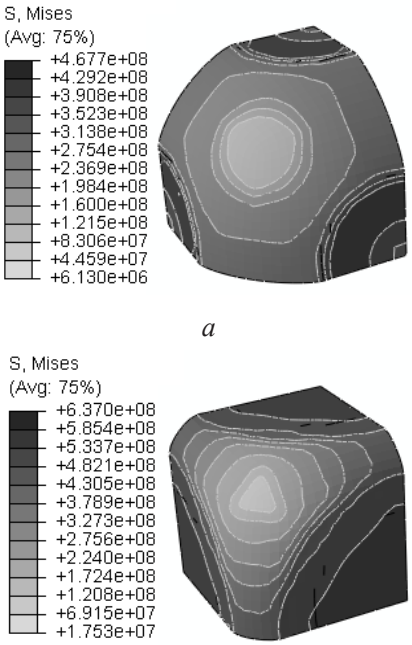


Рис. 6. Распределение интенсивности напряжений σ_i (Па) в 1/8 ячейки представительного объема при ε_v^{pl} = 0,33 (а) и ε_v^{pl} = 0,56 (б)

В результате имитационного моделирования пластического деформирования ячейки представительного объема получены значения главных напряжений σ_1, σ_2, σ_3 для процессов изостатического прессования и сжатия в закрытой пресс-форме титановой губки. Далее определены значения интенсивности касательных τ напряжений и среднего нормального напряжения σ при различных значениях объемной пластической деформации ε_v^{pl}.

На рис. 7 показаны кривые в виде лемнискаты при относительной плотности материала $\rho_{отн}$ = 0,713. Точки, полученные из имитационного моделирования пластической деформации ячейки представительного объема и обозначенные знаком «°», соответствуют напряженному состоянию всестороннего равномерного сжатия, знаком «*» напряженному состоянию компактирования в закрытой пресс-форме.

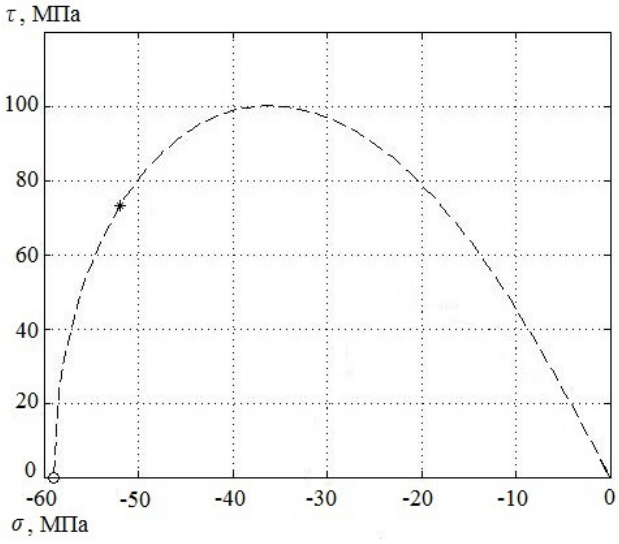


Рис. 7. Кривая в виде лемнискаты для титановой губки при температуре 325 °С

Для определения эволюции кривых текучести построены зависимости объемной пластической деформации ε_v^{pl} от всестороннего равномерного давления p_b, полученные в ходе имитационного моделирования деформации ячейки представительного объема (рис. 8).

На основе построенной лемнискаты определены коэффициенты кривой текучести Друкера — Прагера для титановой губки с относительной плотностью $\rho_{отн}$ = 0,52, необходимые для моделирования процесса компактирования: β = 70°; R = 0,23; $\varepsilon_v^{pl}|_0$ = 0; α = 0,05; K = 1; d = 1 МПа.

На рис. 9 приведено сравнение полей распределения объемной пластической деформации ε_v^{pl} в осевом сечении заготовки при эластостатическом компактировании и аналогичной детали, полученной

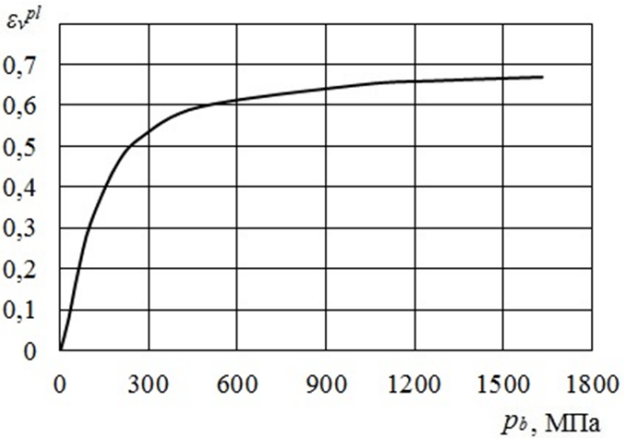
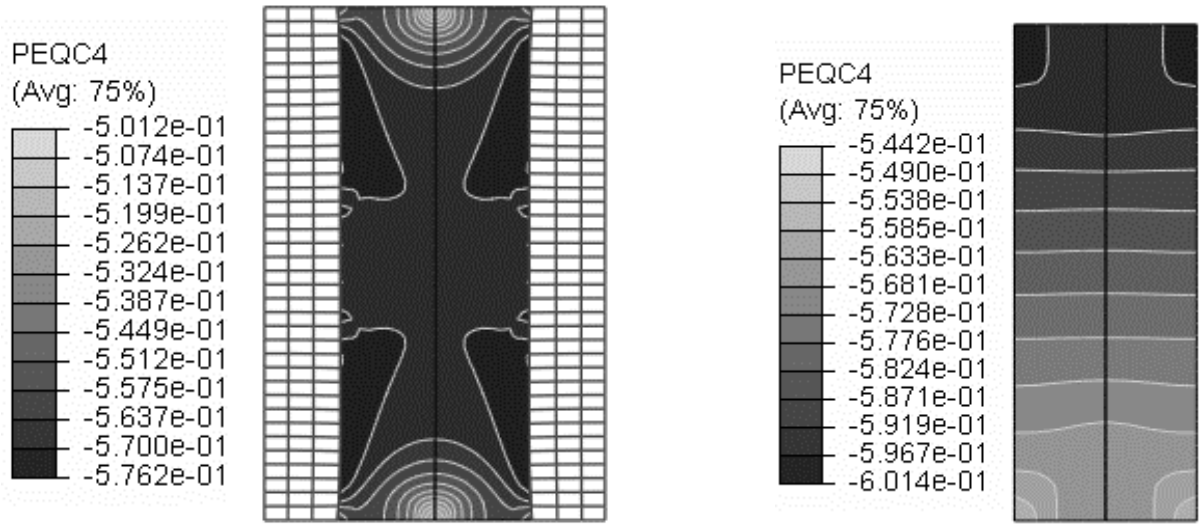


Рис. 8. Зависимость объемной пластической деформации ε_v^{pl} от всестороннего равномерного давления p_b при температуре 325 °С



а *б*

Рис. 9. Распределение объемной пластической деформации ε_v^{pl} в осевом сечении заготовки при эластостатическом компактировании (а) и компактировании в закрытой матрице (б)

методом прессования в закрытой матрице. В случае эластостатического компактирования (рис. 9, *а*) объемная деформация концентрируется в слоях материала, прилегающих к эластичной втулке, тогда как, области наименьших значений ε_v^{pl} расположены на торцах, ближе к оси симметрии заготовки. При компактировании в закрытой матрице (рис. 9, *б*) область наибольших значений объемной деформации расположена на стыке пуансона и боковой поверхности контейнера. Видно, что в центре заготовки линии уровня объемных деформаций близки к горизонтальным. По мере приближения к торцевым слоям заготовки послойно-горизонтальное уплотнение нарушается.

Для определения плотности заготовки ρ в зависимости от расчетной величины объемной пластической деформации ε_v^{pl} пользовались выражением

$$\rho = \rho_{теор} \cdot \rho_{отн} \cdot e^{|\varepsilon_v^{pl}|},$$

где $\rho_{теор}$ — теоретическая плотность титана в беспористом состоянии ($\rho_{теор}$= 4 540 кг/м^3), $\rho_{отн}$ — относительная плотность насыпки титановой губки в исходном состоянии ($\rho_{отн}$= 0,52).

Видно, что разница между максимальным и минимальным значениями ε_v^{pl} при эластостатическом компактировании составляет 13 %, при компактировании в закрытой матрице — 9,5 %. Однако распределение пластической деформации, а значит, и плотности, по объему деформируемого материала при эластостатическом компактировании более равномерное, следовательно, механические характеристики готового изделия, полученного в результате уплотнения эластичной средой, будут выше.

Заключение

Приведена методика идентификации модифицированной модели текучести Друкера — Прагера, позволяющая заменить трудоемкую процедуру проведения физических экспериментов имитационным моделированием пластического деформирования ячейки представительного объема. Определены коэффициенты принятой модели текучести для титановой губки с относительной плотностью $\rho_{отн}$ = 0,52 и температуре 325 °С, необходимые для моделирования процесса компактирования. Осуществлено компьютерное моделирование процесса компактирования титановой губки в толстостенной оболочке, обладающей гиперупругими свойствами. Приведено сравнение полей распределения объемной пластической деформации в осевом сечении заготовки при эластостатическом компактировании и компактировании в закрытой матрице. Показано, что распределение пластической деформации, а значит, и плотности, по объему деформируемого материала при эластостатическом компактировании более равномерное, при этом разница между максимальным и минимальным значениями ε_v^{pl} не превышает 13 %.

Библиографический список

1. Nesterenko, A. V. Influence of temperature on compactibility of briquettes of titanium sponge alloyed with hydrogen / A. V. Nesterenko, V. I. Novozhonov, A. G. Zalazinskii, A. V. Skripov // Russian J. of Non-Ferrous Metals. 2015. Vol. 56, № 3. P. 287–292.

2. Коробейников, С. Н. Нелинейное деформирование твердых тел / С. Н. Коробейников. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2000.

3. Коробейников, С. Н. Компьютерное моделирование деформирования эластомеров [Электронный ресурс] / С. Н. Коробейников, В. Д. Кургузов, А. Ю. Ларичкин, А. А. Олейников // Изв. Алтайс. гос. ун-та. 2014. Т. 1, № 1 (81). С. 165–169. DOI: 10.14258/izvasu(2014)1.1–37

4. Рыбин, Ю. И. Математическое моделирование и проектирование технологических процессов обработки металлов давлением / Ю. И. Рыбин, А. И. Рудской, А. М. Золотов. СПб. : Наука, 2004.

5. ABAQUS 6.10 Theory Manual 2010, Dassault Systemes Simulia Corp., Providence, RI, USA.

6. Chtourou, H. Modeling of the metal powder compaction process using the cap model. Part I. Experimental material characterization and validation / H. Chtourou, M. Guillot, A. Gakwaya // Intern. J. of Solids Structures. 2002. Vol. 39, № 4. P. 1059–1075.

7. Zhang, B. S. Experimental calibration of density-dependent modified Drucker — Prager Cap model using an instrumented cubic die for powder compact / B. S. Zhang, M. Jain, C. H. Zhao, M. Bruhis, R. Lawcock, K. Ly // Powder Technology. 2010. Vol. 204, № 1. P. 27–41.

8. Han, L. H. A modified Drucker — Prager Cap model for die compaction simulation of pharmaceutical powders / L. H. Han, J. A. Elliot, A. C. Bentham, A. Mills, G. E. Amidon, B. C. Hancock // Intern. J. of Solids and Structures. 2008. Vol. 45, №10. P. 3088–3106.

9. Залазинский, А. Г. Пластическое деформирование структурно-неоднородных материалов / А. Г. Залазинский. Екатеринбург : УрО РАН, 2000.

10. Полухин, П. И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов / П. И. Полухин, Г. Я. Гун, А. М. Галкин. М. : Металлургия, 1983.

Сведения об авторах

Березин Иван Михайлович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Уральского федерального университета, Екатеринбург. berezin.e-mail@yandex.ru

Залазинский Александр Георгиевич — доктор технических наук, заведующий лабораторией системного моделирования Института машиноведения Уральского отделения РАН, Екатеринбург.

Нестеренко Антон Владимирович — кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории микромеханики материалов Института машиноведения Уральского отделения РАН, Екатеринбург.

I. M. Berezin, A. G. Zalazinskii, A. V. Nesterenko

SIMULATION OF THE COMPACTION PROCESS OF TITANIUM SPONGE IN A HYPERELASTIC THICK SHELL

In this paper, the process of plastic deformation of titanium sponge in a hyperelastic thick shell was studied. The Modified Drucker — Prager Cap plasticity model has been used for the analysis of the strained material rheological flow. It has been demonstrated that at the identification of taken plasticity model with the accuracy acceptable for engineering analysis, it is expedient to use principles of mechanics of structurally nonhomogeneous materials. In particular, the process of plastic deformation of titanium sponge screening mesh representative volume element in various strain and stress states was studied. The Mooney — Rivlin model has been used for the analysis of the hyperelastic material. It is shown that compaction process of titanium sponge in a rubberlike thick shell produces a more uniform density distribution compared with the die compaction

ББК У263-24
УДК 336.64

Е. В. Буценко

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ИНВЕСТИЦИОННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Рассматриваются интеллектуальные методики анализа больших данных. Обсуждается их применение в сфере инвестиционного проектирования. Актуальность темы вызвана тем, что в инвестиционное проектирование вкладываются немалые средства, а технологии проектирования требуют более совершенных подходов к работе с данными.

О больших данных и их проблемах говорят уже несколько лет, первые публикации появились в 2008 г. [1]. Вопросы анализа и обработки больших данных актуальны практически для любой сферы жизнедеятельности человека: финансы, СМИ, маркетинг, медицина, автомобилестроение, ЖКХ, электронная коммерция, торговля, сфера мобильных операторов.

В наше время область инвестиционного проектирования также нуждается в разработке методов хранения, обработки и анализа больших данных.

Существует множество разнообразных методик анализа массивов данных, в основе которых лежит инструментарий, заимствованный из статистики и информатики (например, машинное обучение).

Приведем список, отражающий наиболее востребованные в различных отраслях подходы, с тем чтобы понять, какие из них можно использовать в инвестиционном проектировании. При этом следует понимать, что исследователи продолжают работать над созданием новых методик и совершенствованием существующих. Кроме того, некоторые из перечисленных методик вовсе не обязательно применимы исключительно к большим данным и могут с успехом использоваться для меньших по объему массивов (например, A/B-тестирование, регрессионный анализ). Безусловно, чем более объемный и диверсифицируемый массив подвергается анализу, тем более точные и релевантные данные удается получить на выходе, что для инвестиционного проектирования является важным моментом.

A/B testing. Методика, в которой контрольная выборка поочередно сравнивается с другими. Тем самым удается выявить оптимальную комбинацию показателей для достижения, например, наилучшей ответной реакции потребителей на маркетинговое предложение. Большие данные позволяют провести огромное количество итераций и таким образом получить статистически достоверный результат.

Association rule learning. Набор методик для выявления взаимосвязей, то есть ассоциативных правил между переменными величинами в больших массивах данных. Используется в data mining.

Classification. Набор методик, которые позволяют предсказать поведение потребителей в определенном сегменте рынка (принятие решений о покупке, отток, объем потребления и проч.). Используется в data mining.

Cluster analysis. Статистический метод классификации объектов по группам за счет выявления заранее не известных общих признаков. Используется в data mining.

Crowdsourcing. Методика сбора данных из большого количества источников.

Data fusion and data integration. Набор методик, который позволяет анализировать комментарии пользователей социальных сетей и сопоставлять с результатами продаж в режиме реального времени.

Data mining. Набор методик, который позволяет определить наиболее восприимчивые для продвигаемого продукта или услуги категории потребителей, выявить особенности наиболее успешных работников, предсказать поведенческую модель потребителей.

Ensemble learning. В этом методе используется множество предикативных моделей, за счет чего повышается качество сделанных прогнозов.

Genetic algorithms. В этой методике возможные решения представляют в виде «хромосом», которые могут комбинироваться и мутировать. Как и в процессе естественной эволюции, выживает наиболее приспособленная особь.

Machine learning. Направление в информатике (исторически за ним закрепилось название «искусственный интеллект»), которое преследует цель создания алгоритмов самообучения на основе анализа эмпирических данных.

Natural language processing (NLP). Набор заимствованных из информатики и лингвистики методик распознавания естественного языка человека.

Network analysis. Набор методик анализа связей между узлами в сетях. Применительно к социальным сетям позволяет анализировать взаимосвязи между отдельными пользователями, компаниями, сообществами и т. п.

Optimization. Набор численных методов для редизайна сложных систем и процессов для улучшения одного или нескольких показателей. Помогает в принятии стратегических решений, например, о составе выводимой на рынок продуктовой линейки, проведении инвестиционного анализа и пр.

Pattern recognition. Набор методик с элементами самообучения для предсказания поведенческой модели потребителей.

Predictive modeling. Набор методик, которые позволяют создать математическую модель заранее заданного вероятного сценария развития событий. Например, анализ базы данных CRM-системы на предмет возможных условий, которые подтолкнут абонентов сменить провайдера.

Regression. Набор статистических методов для выявления закономерности между изменением зависимой переменной и одной или несколькими независимыми. Часто применяется для прогнозирования и предсказаний. Используется в data mining.

Sentiment analysis. В основе методик оценки настроений потребителей лежат технологии распознавания естественного языка человека. Они позволяют выделить из общего информационного потока сообщения, связанные с интересующим предметом (например, потребительским продуктом). Далее оценить полярность суждения (позитивное или негативное), степень эмоциональности и проч.

Signal processing. Заимствованный из радиотехники набор методик, который преследует цель распознавания сигнала на фоне шума и его дальнейшего анализа.

Spatial analysis. Набор отчасти заимствованных из статистики методик анализа пространственных данных — топологии местности, географических координат, геометрии объектов. Источником больших данных в этом случае часто выступают геоинформационные системы (ГИС).

Statistics. Наука о сборе, организации и интерпретации данных, включая разработку анкет и проведение экспериментов. Статистические методы часто применяются для оценочных суждений о взаимосвязях между теми или иными событиями.

Supervised learning. Набор основанных на технологиях машинного обучения методик, которые позволяют выявить функциональные взаимосвязи в анализируемых массивах данных.

Simulation. Моделирование поведения сложных систем, часто используется для прогнозирования, предсказания и проработки различных сценариев при планировании.

Time series analysis. Набор заимствованных из статистики и цифровой обработки сигналов методов анализа повторяющихся с течением времени последовательностей данных. Одно из очевидных применений — отслеживание рынка ценных бумаг или заболеваемости пациентов.

Unsupervised learning. Набор основанных на технологиях машинного обучения методик, которые позволяют выявить скрытые функциональные взаимосвязи в анализируемых массивах данных. Имеет общие черты с Cluster Analysis.

Visualization. Методы графического представления результатов анализа больших данных в виде диаграмм или анимированных изображений для облегчения понимания полученных результатов.

Аналитический инструментарий

Некоторые из перечисленных в предыдущем подразделе подходов или определенная их совокупность позволяют реализовать на практике аналитические механизмы для работы с большими данными. Из свободных или относительно недорогих открытых систем анализа Big Data можно порекомендовать [2]:

– 1010data;
– Apache Chukwa;
– Apache Hadoop;
– Apache Hive;
– Apache Pig!;
– Jaspersoft;
– LexisNexis Risk Solutions HPCC Systems;
– MapReduce;
– Revolution Analytics (на базе языка R для математической статистики).

Особый интерес в этом списке представляет Apache Hadoop — ПО с открытым кодом, которое за последние пять лет испытано в качестве анализатора данных большинством трекеров акций [3]. Как только Yahoo открыла код Hadoop сообществу с открытым кодом, в ИТ-индустрии незамедлительно появилось целое направление по созданию продуктов на базе Hadoop. В настоящее время практически все современные средства анализа больших данных предоставляют средства интеграции с Hadoop. Их разработчиками выступают как стартапы, так и общеизвестные мировые компании.

Подходы к работе с большими данными

Невиданное прежде разнообразие данных, возникающих в результате огромного числа всевозможных транзакций и взаимодействий, представляет собой прекрасную фундаментальную базу для бизнеса по уточнению прогнозов, оценке перспектив развития продуктов и целых направлений, лучшего контроля затрат, оценки эффективности — список можно продолжать долго. С другой стороны, большие данные ставят непростые задачи перед любым ИТ-подразделением. Мало того, что они принципиально нового характера, при их решении важно учитывать накладываемые бюджетом ограничения на капитальные и текущие затраты.

ИТ-директор, который намерен извлечь пользу из больших структурированных и неструктурированных данных, должен руководствоваться следующими техническими соображениями.

Разделение и объединение. Перемещение и интеграция данных необходимы, но оба подхода повышают капитальные и операционные расходы на инструменты извлечения информации, ее преобразования и загрузки (ETL). Поэтому не стоит пренебрегать стандартными реляционными средами, такими как Oracle, и аналитическими хранилищами данных, такими как Teradata.

Компрессия и дедупликация. Обе технологии существенно ушли вперед, например, многоуровневая компрессия позволяет сокращать объем необработанных данных в десятки раз. Впрочем, всегда стоит помнить, какая часть сжатых данных может потребовать восстановления, и, уже отталкиваясь от каждой конкретной ситуации, принимать решение об использовании той же компрессии.

Не все данные одинаковы. В зависимости от конкретной ситуации диапазон запросов для бизнес-аналитики меняется в широких пределах. Часто для получения необходимой информации достаточно получить ответ на SQL-запрос, но встречаются и глубокие аналитические запросы, требующие применения наделенных бизнес-интеллектом инструментов и обладающих полным спектром возможностей приборной доски и визуализации. Чтобы не допустить резкого увеличения операционных расходов, нужно тщательно подойти к составлению сбалансированного списка необходимых патентованных технологий в сочетании с открытым ПО Apache Hadoop.

Масштабирование и управляемость. Организации вынуждены решать проблему разнородности баз данных и аналитических сред, и в этой связи возможность масштабирования по горизонтали и вертикали имеет принципиальное значение. Собственно, как раз легкость горизонтального масштабирования и стала одной из основных причин быстрого распространения Hadoop. Особенно в свете возможности параллельной обработки информации на кластерах из обычных серверов (не требует от сотрудников узкоспециальных навыков) и экономии, таким образом, инвестиций в ИТ-ресурсы.

Интерес к инструментам сбора, обработки, управления и анализа больших данных проявляют практически все ведущие ИТ-компании, что вполне закономерно. Во-первых, они непосредственно сталкиваются с этим феноменом в собственном бизнесе, во-вторых, большие данные открывают отличные возможности для освоения новых ниш рынка и привлечения новых заказчиков. Например, Amazon, Dell, eBay, Facebook, Fujitsu, Google, HP, IBM, Linkedln, Microsoft, Oracle, SAP, Yahoo и другие.

В последнее время появляется множество инвестиционных проектов (стартапов), которые строят бизнес на обработке огромных массивов данных. Часть из них используют готовую облачную инфраструктуру, предоставляемую крупными компаниями вроде Amazon. Через Google легко можно найти десятки компаний, таких как: Acunu, Apigee, Aspera, Aster Data, Cloudera, Couchbase, Datameer, DataStax, Factual, GoodData, Greenplum, nPario, SenSage, Socrata, TellApart и др.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что актуальность использования больших данных растет с каждым годом, появляется новый инструментарий для работы с ними, а на смену традиционным системам обработки данных приходят новые массивно-параллельные решения.

Для сферы инвестиционного проектирования разработка новых подходов сбора и анализа больших данных позволит иметь доступ к большому объему необходимых данных, устанавливать взаимосвязи между этими данными и делать на их основе значимые выводы. А если учитывать, что данные сейчас обновляются все чаще и чаще, и аналитик получает ситуацию, в которой традиционные методы анализа информации не могут угнаться за огромными объемами постоянно обновляемых данных, то в итоге на помощь приходят технологии больших данных.

Таким образом, применение интеллектуальных методов анализа больших данных в инвестиционном проектировании позволит усовершенствовать подходы к обработке и анализу данных, тем самым увеличив эффективность от работы, то есть от вложения средств в новые проекты, и повысить конкурентоспособность компании.

Библиографический список

1. Big Data [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru (Дата обращения 1.12.2015).

2. Как анализировать большие данные [Электронный ресурс]. URL: http://www.pcweek.ru/idea/blog/idea/1229.php (Дата обращения: 1.12.2015).

3. Большие данные [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/index.php (Дата обращения: 12.08.2015).

Сведения об авторе

Буценко Елена Владимировна — кандидат экономических наук, доцент Уральского государственного экономического университета, Екатеринбург. evl@usue.ru

E. V. Butsenko

INTELLIGENT METHODS BIG DATA AND THEIR USE IN INVESTMENT PLANNING

This article discusses some methods of intelligent analysis of big data. We discuss their application in the field of investment projecting.

ББК 381
УДК 004

Д. В. Вербов

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВЫБОР МЕТОДОВ ИНТЕГРАЦИИ, С ПОЗИЦИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И НАДЁЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Описывается метод выявления факторов, влияющих на производительность информационной системы в неполно связанной структуре. Предлагается подход долговременного хранения и использования выявленных факторов для прогноза возможных проблем интеграции и выбора методов интеграции информационных систем.

Как правило, информационные системы масштаба предприятия, играющие в его информационных процессах значимую роль, проходят несколько этапов развития и изменения. Эти изменения могут быть вызваны как внешними факторами, обусловленными изменением законодательства или нормативной отраслевой базой или же изменениями в технике и программном обеспечении, так и внутренними факторами, связанными с усложнением или (напротив) упрощением процессов предприятия, сменой или расширением сферы деятельности, изменениями в организационно-управленческой структуре или внедрением новых методов управления. Информационная система, особенно охватывающая и связывающая множество бизнес-процессов организации, вынужденно перестраиваться под изменившиеся обстоятельства. Разумеется, здесь могут возникнуть затруднения как лицензионного, так и технического плана, что по сути потребует замены недостаточно гибкой информационной системы. Тем не менее в данной работе рассматривается и понимается информационная система предприятия как вся совокупность связанных (иногда не напрямую) различных программных систем, поддерживающих работу предприятия и отражающих в своей общности имеющиеся на предприятии информационные потоки.

При достаточно серьёзном изменении одной из систем, а уж тем более ее замены, неизбежно требуется перестраивать и имеющиеся связи между отдельными системами. Как правило, этот процесс стихиен в том смысле, что его основной целью является установление информационного взаимодействия между отдельными элементами с оговоренными качеством, форматом и частотой обмена информации без рассмотрения вопросов циркуляции информации в целом. В процессе могут возникать и успешно решаться вопросы производительности, надежности или избыточности хранения информации. Но каждый раз они касаются только взаимодействия отдельных узлов общей системы.

В данной работе поднимается вопрос и необходимости выбора методов интеграции отдельных информационных подсистем предприятия с целью оптимизации их влияния на характеристики информационной системы в целом.

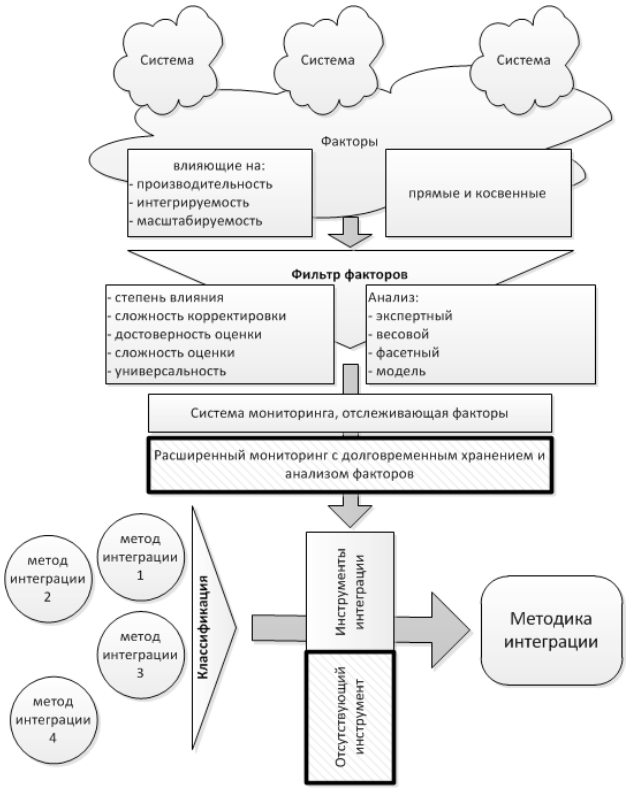
Рассматривая различные методы интеграции, отметим, что в зависимости от задачи можно привести разные подходы к их классификации. Так, с точки зрения архитектуры в самом общем виде в работе [1] предлагается разделять подходы к интеграции на архитектуры с посредником — Global as View и Local as View. При непосредственной интеграции двух систем на первое место выходят вопросы выбора конвертера, интегрирующих моделей данных и их отображения, а также протоколы взаимодействия. В случае относительной близости технических средств и моделей данных данная задача вырождается в выбор методов репликации.

Одним из актуальных сегодня методов интеграции для распределенных и слабосвязанных информационных систем является сервисный подход на основе сервисно-ориентированной архитектуры SOA (Service Oriented Architecture). В данном подходе единицей передачи информации выступает сообщение. Детально данный подход рассматривается в книге [2] подробное внимание уделяется форматам сообщений, их диспетчеризации, поиску и каталогизации конечных точек обмена и протоколам взаимодействия.

Можно рассмотреть интеграционные методы в зависимости от уровня, на котором будет осуществляться интеграция (уровень данных, приложений, функций ИС, распределенных связей ИС). Или же обратить внимание на выбор технического метода (передача файлов, объединение БД, удаленный вызов процедур или передача сообщений в том числе почтовых).

В любом случае необходим подход к выбору метода не только исходя из текущих потребностей, но и с учетом того, как выбранный метод интеграции окажет влияние на функционирование информационной системы в целом в дальнейшем.

На рисунке представлен обобщенный подход к выбору метода интеграции. Для имеющихся в эксплуатации информационных систем выбирают и осуществляют мониторинг факторов, влияющих на значимые для нас параметры, такие как производительность, интегрируемость, масштабируемость или надежность. Часть из этих факторов собирается на основе имеющихся систем мониторинга, часть — на основе экспертной оценки и опроса. Для данных



факторов вводится дополнительная фильтрация и ранжирование с целью оценки их корреляции с выбранной моделью интеграции. Метод интеграции корректируется в зависимости от выбранных показателей, в свою очередь, долговременное хранение данных мониторинга и сравнение их изменения в процессе трансформации информационных систем позволяют накопить необходимый объем данных для выбора успешного метода интеграции в дальнейшем. Фактически получается система с обратной связью.

В настоящее время разработан и проходит апробацию расширенный мониторинг с долговременным хранением данных. Для отдельных подсистем ведется доработка инструментов интегрирования с целью расширения вариантов выбора методик интеграции для каждой из имеющихся на предприятии информационных систем.

Долговременной целью является построение экспертной системы, позволяющей на основе накопленных данных предлагать корректировку выбранных ранее методов интеграции и осуществлять выбор для вновь создаваемых подсистем.

Библиографический список

1. Когаловский, М. Р. Методы интеграции данных в информационных системах / М. Р. Когаловский. М. : Ин-т проблем рынка РАН, 2010.

2. Хоп, Г. Шаблоны интеграции корпоративных приложений : пер. с англ. / Г. Хоп, Б. Вульф. М. : Вильямс, 2007. 672 с.

Сведения об авторе

Вербов Денис Валерьевич — начальник научно-исследовательского отдела Всероссийского научно-исследовательского института автоматики им. Н. Л. Духова, Москва. verbov@vniia.ru

---

D. V. Verbov

ANALYSIS OF THE FACTORS INFLUENCING THE CHOICE OF INTEGRATION METHODS FROM THE STANDPOINT OF PERFORMANCE AND RELIABILITY OF INFORMATION SYSTEMS

Method to identify the factors influencing performance of information system in an incompletely connected structure is describes. We propose an approach of long-term storage and use the identified factors to predict possible problems of integration and selecting methods of integration of information systems.

ББК У373-81
УДК 656.07

К. А. Глимшина, Д. Р. Богданова, Д. А. Максимов

СИСТЕМНЫЕ МОДЕЛИ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В РАЙОНЕ ЮЖНОГО АВТОВОКЗАЛА ГОРОДА УФЫ

Приведен системный анализ городской транспортной инфраструктуры в районе Южного автовокзала города Уфы. Разработана функциональная модель — процесс «Реорганизация дорожного движения». Приведена декомпозиция его блоков: «Количественная оценка параметров выбранных элементов» и «Создание динамической модели организации дорожного движения». Произведен расчет интенсивности транспортных потоков на примере района Южного автовокзала города Уфы. Предложен комплекс мероприятий по разгрузке транспортных потоков, произведена предварительная оценка предложенных мероприятий.

Введение

Уфа — крупный город с интенсивным движением и растущей численностью населения.

Через район Южного автовокзала г. Уфы, расположенного на ул. им. Города Галле, проходит транзитный грузовой транспорт.

Согласно плану по развитию городской транспортной инфраструктуры города улица им. Города Галле должна связать федеральные автомагистрали М7 и М5, следовательно, все планируемые мероприятия должны планироваться с обязательным учетом этого фактора.

Главными проблемами в данном районе являются высокая интенсивность движения на перекрестках и низкая пропускная способность.

Задача данной работы заключается в реорганизации дорожного движения в районе Южного автовокзала г. Уфы.

Применение современных методов информационных технологий позволит разгрузить транспортные потоки, а также повысить пропускную способность района.

1. Системный анализ предметной области

Проведение системного анализа позволяет рассмотреть городскую транспортную инфраструктуру как систему. В рамках этой системы разработан процесс «Реорганизация дорожного движения».

Системный анализ включает в себя определение объекта исследования, границ системы, структуру и внешнюю среду.

Объект исследования системы: городская транспортная инфраструктура в районе Южного автовокзала г. Уфы.

Границами системы является г. Уфа, в качестве исследования выбран отдельный район г. Уфы — район Южного автовокзала (перекресток ул. им. Города Галле и Рихарда Зорге, круговой перекресток, Затонский мост) (рис. 1).

Структура системы включает в себя следующие объекты: перекрестки с прилежащими к ним дорогами, объекты улично-дорожной сети (УДС) (дорожные знаки, разметки, автобусные остановки и т. д.), участники дорожного движения.

Рис. 1. Район Южного автовокзала г. Уфы

Внешней средой системы являются транспортные потоки, входящие в эту систему.

2. Функциональные модели процесса «Реорганизация дорожного движения»

Процесс «Реорганизация дорожного движения» регламентируется ГОСТ Р 52289-2004 «Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств» [1], ГОСТ Р 52290-2004 «Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования» [2], ГОСТ Р 52282-2004 «Технические средства организации дорожного движения. Светофоры дорожные. Типы и основные параметры» [3], ГОСТ Р 52607-2006 «Технические средства организации дорожного движения. Ограждения дорожные удерживающие боковые для автомобилей. Общие технические требования» [4], ГОСТ Р 51256-2011 «Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Классификация. Технические требования» [5], а также региональными нормативными актами, СП 34.13330.2012 «Свод правил, автомобильные дороги» [7], СНиП 2.07.01-89* «Градостроительство» [6], теорией организации дорожного движения (ОДД) и моделирования, методикой натурных наблюдений [13], выбранными мероприятиями по реорганизации дорожного движения (ДД),

показателями эффективности ДД, ассортиментом показателей адекватности.

На этапе создания процесса «Реорганизация дорожного движения» расположен объект ДД, элемент УДС объекта, количественные показатели и параметры, транспортная модель, а также выбранные мероприятия по реорганизации дорожного движения.

Осуществление данного процесса выполняется специалистом по ОДД, экспертами, а также с применением следующих инструментов: технических средств, электронных вычислительных машин (ЭВМ), программного обеспечения (ПО) для моделирования.

Результатом выполнения процесса «Реорганизация дорожного движения» является оценка транспортной модели и рекомендации по эффективным мероприятиям.

Декомпозиция процессов «Количественная оценка параметров выбранных элементов» (рис. 3) и «Создание динамической модели организации дорожного движения» (рис. 4) дает более подробное описание процесса «Реорганизация дорожного движения».

Процесс «Количественная оценка параметров выбранных элементов» состоит из следующих подпроцессов: «Сбор данных о транспортных потоках», «Расчет коэффициента приведения транспортных потоков» (п. 3), «Построение графиков» и «Анализ». Данные процессы регламентируются ГОСТами и документами (указанными ранее), методикой натурных

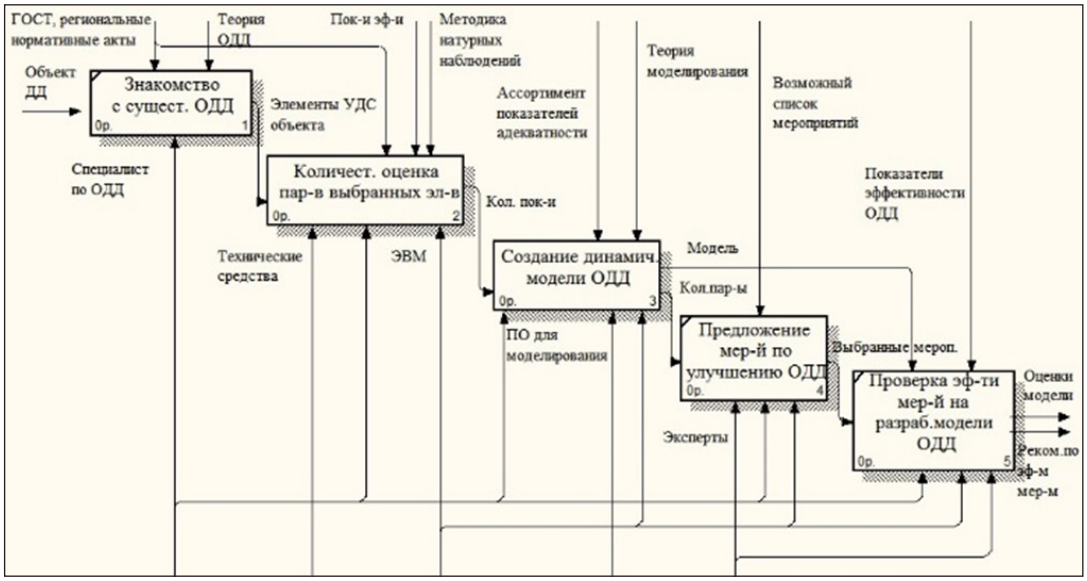


Рис. 2. Функциональная модель процесса «Реорганизации дорожного движения», уровень А1

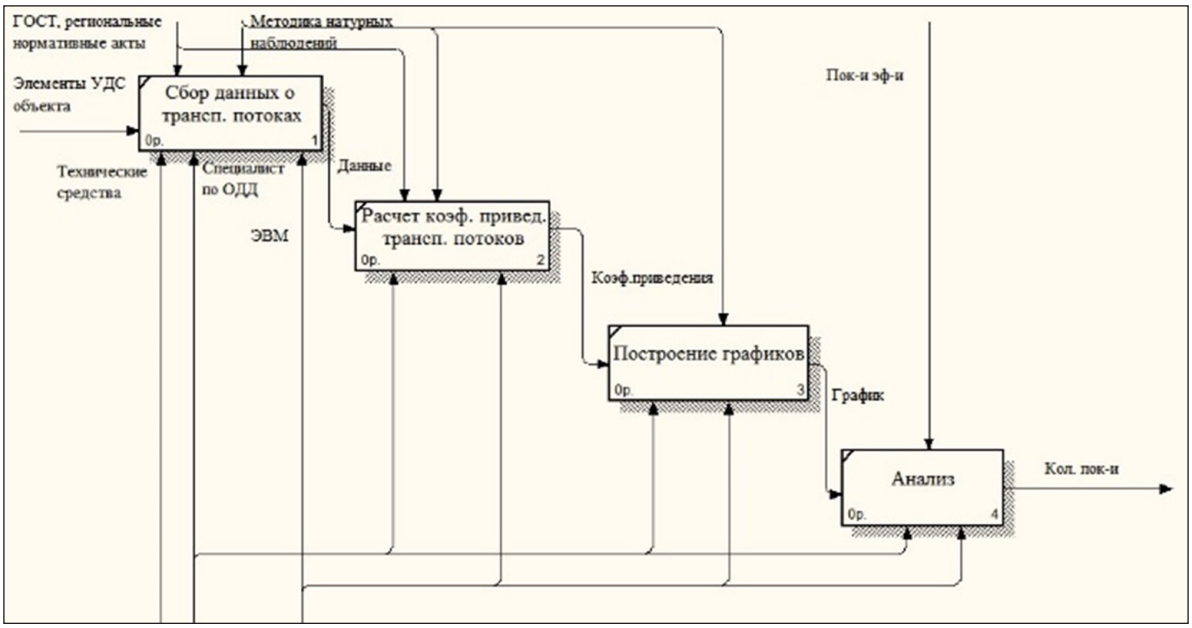


Рис. 3. Декомпозиция процесса «Количественная оценка параметров выбранных элементов», уровень А2

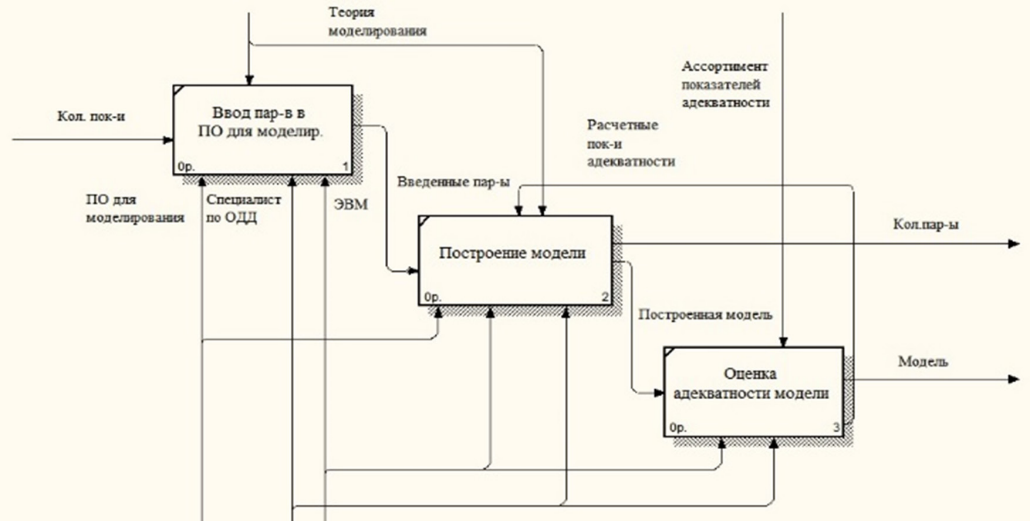


Рис. 4. Декомпозиция процесса «Создание динамической модели организации дорожного движения», уровень А2

наблюдений, а также показателями эффективности.

На этапах создания процесса «Количественная оценка параметров выбранных элементов» расположены элементы УДС, данные о транспортных потоках, коэффициент приведения, график.

Процесс выполняется специалистом по ОДД с применением технических средств и ЭВМ, его результатом являются количественные показатели.

Процесс «Создание динамической модели организации дорожного движения» состоит из следующих подпроцессов: «Ввод параметров в ПО для моделирования», «Построение модели», «Оценка адекватности модели». Данные процессы регламентируется теорией моделирования, расчетными показателями адекватности и ассортиментом показателей адекватности.

На этапах процесса «Создание динамической модели организации дорожного движения» расположены количественные показатели, введенные параметры, построенная модель.

Процесс выполняется специалистом по ОДД с применением ЭВМ и ПО для моделирования, его результатом являются количественные параметры и модель.

3. Расчет интенсивности движения транспортного потока в районе Южного автовокзала г. Уфы

Разработка процесса «Количественная оценка параметров выбранных элементов» начинается со сбора данных о транспортных потоках, затем производится расчет интенсивности движения транспортного потока в районе Южного автовокзала г. Уфы, включающий в себя расчет коэффициента приведения транспортных средств и анализ. Расчет интенсивности движения транспортного потока осуществляется с применением методики натурных наблюдений [10].

Далее приведен расчет интенсивности движения транспортного потока на Затонском мосту, транспортном кольце и перекрестке ул. им. Города Галле и Рихарда Зорге.

Для разгрузки транспортного потока необходим мост второй очереди. При введении второго затонского моста на каждом мосту будет осуществляться движение в одну сторону, следовательно, на каждую сторону по 4 полосы движения. При введении второго затонского моста транспортный поток значительно разгрузится, произойдет перераспределение транспортных потоков, а следовательно, увеличится пропускная способность транспортного потока в направлении Уфы. Но нагрузка возрастет также на транспортном кольце, на пересечении ул. им. Города Галле и ул. Пархоменко, так как пропускная способность этого перекрестка на данный момент

Таблица 1

Расчет интенсивности транспортного потока на Затонском мосту, приведенные автомобиле-часы

Направление	Утро	День	Вечер	Всего за часы пик
В город	7 144	3 686	4 042	14 872
В Затон	3 912	4 483	5 555	13 950

Таблица 2

Время ожидания в пробках на Затонском мосту до и после возведения моста второй очереди (рассчитано с применением метода пропорций)

Параметр	До возведения моста	После возведения моста
Время, за которое можно доехать до города в часы пик, мин	27–36	9–13,5
Средняя скорость движения, км/ч	10–20	40–60

недостаточна (рис. 5), а после возведения моста, нагрузка на кольцо увеличится в 2 раза (в соответствии с расчетами транспортного потока с применением метода натурных наблюдений).

Утро: 5754 привед.авт/ч **Вечер: 5523 привед.авт/ч**

Рис. 5. Нагрузка на транспортное кольцо в утренние и вечерние часы пик, приведенные автомобиле-часы

Необходимо построить качественную развязку на месте транспортного кольца. По предварительной оценке с применением метода пропорций, транспортная развязка существенно разгрузит транспортные потоки, снизит заторы, снизит время ожидания в пробках на 25 мин, а главное, повысит пропускную способность района в 1,5 раза, скорость движения в часы-пик увеличится в 2 раза.

Кроме того, рассчитаны транспортные потоки по всем направлениям на перекрестке ул. им. Города Галле и Рихарда Зорге, на рис. 6 показаны наиболее загруженные направления.

Для увеличения пропускной способности интенсивных направлений необходимо внедрение автоматизированной системы управления светофорами, которые с учетом текущей ситуации с транспортным потоком самостоятельно будут регулировать циклы стрелок. Данная автоматизированная система существенно повысит среднюю скорость движения, а также снизит время ожидания в часы пик.

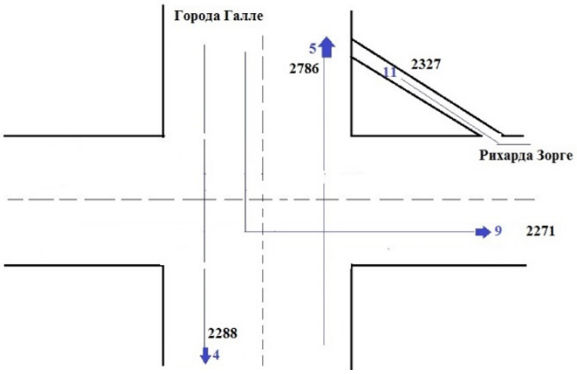


Рис. 6. Наиболее загруженные направления с указанием интенсивности, приведенные автомобиле-часы

Таблица 3

Время ожидания в часы пик на перекрестке ул. им. Города Галле и Рихарда Зорге до и после возведения развязки

Параметр	До возведения развязки	После возведения развязки
Цикл стрелки светофора, с	25	35
Время ожидания в часы пик, мин	22–33,5	5,5–8,5
Средняя скорость движения, км/	10 – 15	40-60

Таким образом, при расчете интенсивности движения транспортных потоков в районе Южного автовокзала г. Уфы выявлены конфликтные направления движения транспортных потоков, предложен комплекс мероприятий по реорганизации дорожного движения: строительство моста второй очереди, строительство транспортной развязки, внедрение автоматизированной системы управления светофорами на перекрестке ул. им. Города Галле и Рихарда Зорге.

Проведена предварительная оценка эффективности строительства транспортной развязки с применением метода пропорций, которая позволит увеличить пропускную способность транспортного потока в 1,5 раза, повысит скорость движения в 4 раза, а также снизит заторы на 50 % в районе Южного автовокзала г. Уфы.

Для точной оценки эффективности предложенных мероприятий необходимо разработать транспортную модель с применением различного ПО для моделирования транспортных потоков, таких как Anylogic, PTV Vissim и т. д.

В дальнейшем исследовании планируется создание динамической модели организации дорожного движения в районе Южного автовокзала г. Уфы.

Заключение

В данной работе проведен системный анализ городской транспортной инфраструктуры в районе Южного автовокзала г. Уфы. Определены объект исследования, границы системы, структура и внешняя среда.

В рамках этой системы разработаны процесс «Реорганизация дорожного движения» и декомпозиция его процессов: «Количественная оценка параметров выбранных элементов» и «Создание динамической модели организации дорожного движения».

Произведен расчет транспортных потоков на проблемных участках района Южного автовокзала г. Уфы с применением метода натурных наблюдений, в результате расчетов выявлены конфликтные направления движения транспортных потоков.

В связи с этим предложен комплекс мероприятий по реорганизации дорожного движения: строитель-

ство моста второй очереди, транспортной развязки, внедрение автоматизированной системы управления светофорами. Произведена предварительная оценка строительства транспортной развязки.

Создание транспортной модели позволит оценить эффективность предложенных мероприятий по реорганизации дорожного движения в специальном ПО для моделирования, что в дальнейшем будет реализовано.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 52289-2004 «Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств».
2. ГОСТ Р 52290-2004 «Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования».
3. ГОСТ Р 52282-2004 «Технические средства организации дорожного движения. Светофоры дорожные. Типы и основные параметры».
4. ГОСТ Р 52607-2006 «Технические средства организации дорожного движения. Ограждения дорожные удерживающие боковые для автомобилей. Общие технические требования».
5. ГОСТ Р 51256-2011 «Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Классификация. Технические требования».
6. СНиП2.07.01-89*. «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских территорий» / Госстрой СССР. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. 56 с.
7. СП 34.13330.2012 «Свод правил. Автомобильные дороги».
8. Введение в математическое моделирование транспортных потоков : учеб. пособие / А. В. Гасников, С. Л. Кленов, Е. А. Нурминский, Я. А. Холодов, Н. Б. Шамрай. М. : МФТИ, 2010. 360 с.
9. Домбровский, А. Н. Организация дорожного движения. Часть 3 : учеб. пособие / А. Н. Домбровский. Краснодар : Изд-во КубГТУ 1999. 94 с.
10. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими : пер. с англ. / Д. Дрю. М. : Транспорт, 1972. 423 с.
11. Пугачев, И. Н. Организация и безопасность движения : учеб. пособие / И. Н. Пугачев. Хабаровск : Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 2004. 232 с.
12. Сильянов, В. В. Теория транспортных потоков в проектировании автомобильных дорог и организации движения / В. В. Сильянов. М. : Транспорт, 1977. 301 с.
13. Методика обследования интенсивности движения транспортных потоков [Электронный ресурс]. URL: http://studopedia.org/4-33349.html
14. Методология функционального моделирования IDEF0 [Электронный ресурс]. URL: http://www.nsu.ru/smk/files/idef.pdf

Сведения об авторах

Глимшина Камила Айратовна — магистрант 1-го года обучения Уфимского государственного авиационного технического университета. amourka.k@yandex.ru

Богданова Диана Радиковна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. dianochka7bog@mail.ru

Максимов Денис Алексеевич — инженер по специальности «Системы автоматизированного проектирования», инженер-программист ООО «БГК». Den_M-2006@mail.ru

---

K. A. Glimshina, D. R. Bogdanova, D. A. Maksimov

SYSTEM MODEL OF URBAN TRANSPORT INFRASTRUCTURE IN THE AREA SOUTHERN BUS TERMINAL CITY OF UFA

The paper presents a systematic analysis of urban transport infrastructure in the South bus station in Ufa. A functional model — process “Reorganization of traffic” was developed. The decomposition of its parts is compiled: “Quantitative estimate of parameters, chosen elements” and “Creation of dynamic model of traffic organization”. The calculation of the intensity of traffic flow was made based on the example of the district of South bus station of Ufa. There is suggested a complex of measures on traffic flows, the preliminary assessment of suggested measures was made.

ББК Д45
УДК 553.3:004.4

Е. А. Горбатова, Е. А. Емельяненко, М. В. Зарецкий

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Предложена система поддержки принятия решений, позволяющая выбирать наиболее эффективный способ переработки отдельных потоков рудного сырья. Система основана на онтологии, включающей в себя подсистему логического вывода.

Постановка проблемы. Горно-обогатительное производство является первым звеном в цепочке «добыча полезных ископаемых → первичная переработка → глубокая переработка». Важнейшая задача горно-обогатительного производства — обеспечение перерабатывающих предприятий высококачественным сырьем при минимальном загрязнении окружающей среды. Решение данной задачи состоит в переходе к комплексному освоению месторождений, предполагающему максимально полное извлечение полезных ископаемых из недр и ценных компонентов из вещества. При комплексном освоении месторождений в эффективную переработку должны вовлекаться кондиционные, некондиционные руды, техногенное сырье, отходы добычи и переработки, содержащие полезные, ценные и сопутствующие компоненты, которые при использовании определенных технологий и их комбинаций, при соблюдении экологических норм могут быть извлечены [1].

Все вышеперечисленные задачи возникают при проектировании горнорудных предприятий, нацеленных на комплексное освоение колчеданных месторождений. Традиционным способом подготовки рудного сырья к переработке является его усреднение. Положительная сторона данного способа — обеспечение стабильного качества рудного сырья. Отрицательной стороной данного способа является невозможность учета специфики отдельных потоков рудного сырья, добываемого на разных месторождениях, в результате чего происходит неполное извлечение полезных, попутных и вредных компонентов, а также оказывается повышенное негативное воздействие на окружающую среду.

Основными извлекаемыми из медноколчеданных руд компонентами являются медь, цинк, сера. Кроме того, может быть необходимым удаление вредных компонентов (мышьяка, сурьмы). Их содержание в продукте не должно превышать нормы, установленной ГОСТ [2]. В зависимости от выбранного направления переработки мышьяк может быть извлечен (в этом случае он также рассматривается как ценный компонент) или складирован в химически связанном виде, не представляющем экологической опасности [3].

В условиях современного горно-обогатительного производства возможна раздельная переработка крупных потоков рудного сырья, однородного по составу и строению. При этом должна быть обеспечена возможность оперативного выбора оптимальных параметров технологического процесса переработки, для чего необходимо функционирование автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП). Неотъемлемой частью АСТПП является система поддержки принятия решений (СППР).

Цель работы — определение основных характеристик СППР проектирования технологии комплексной переработки рудного колчеданного сырья.

Создаваемая система поддержки принятия решений должна на основании данных о потоке руды рекомендовать наиболее целесообразный технологический процесс ее переработки.

Формализуем поставленную задачу на основе онтологической парадигмы. Следуя [4], введем в рассмотрение онтологию

$$Onto = \langle C, Pr, V, I, R, A, D \rangle,$$

где 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 подробно те компоненты онтологии, которые не совпадают с компонентами онтологий, описанных в [5–7].

В данном случае рассматриваются классы:

C_1 — рудный поток;

C_2 — технологический процесс;

D — алгоритм отнесения рудного потока к одному из типов.

Свойства класса C_1:

Ind_Sort — промышленный сорт (рассматриваются 4 сорта);

Str_Text — структурно-текстурные особенности (рассматриваются 2 вида);

Nat_Type — природный тип (рассматриваются 14 типов);

Gran_Comp — гранулярный состав (рассматриваются 2 типа).

Свойства класса C_2 подробно описаны в [5–7].

Рассмотрим алгоритмы вывода. Введем обозначения:

PCu — содержание меди в потоке (в процентах);

PZn — содержание цинка в потоке (в процентах);

PS — содержание серы в потоке (в процентах);

PAs — содержание мышьяка в потоке (в процентах);

dg — минимальный размер зерна (мкм).

Важные для работы СППР предельные величины содержания компонентов обозначим:

PCuCrit — предельная величина для содержания меди (в процентах);

PZnCrit — предельная величина для содержания цинка (в процентах);

PSCrit — предельная величина для содержания серы (в процентах);

PAsCrit — предельная величина для содержания мышьяка (в процентах);

dgCrit — предельная величина для минимального размера зерна (мкм).

Количественные оценки содержания рассматриваемых компонентов могут быть сформулированы с помощью следующих предикатов:

$$Pr1 = PCu < PCuCrit;$$

$$Pr2 = PZn < PZnCrit;$$

$$Pr3 = PS < PSCrit;$$

$$Pr4 = PAs < PAsCrit;$$

$$Pr5 = dg < dgCrit.$$

Для определения промышленного сорта руды применяется система предикатов:

$$S1 = \overline{Pr1} \wedge Pr2; \quad (1)$$

$$S2 = \overline{Pr1} \wedge \overline{Pr2}; \quad (2)$$

$$S3 = Pr1 \wedge Pr2 \wedge Pr3; \quad (3)$$

$$S4 = Pr1 \wedge \overline{Pr2}. \quad (4)$$

Истинность *i*-го предиката означает, что руда имеет сорт *i*.

Для определения текстурно-структурных особенностей используем предикат

$$T = \overline{Pr3} \wedge \left(\left(\overline{Pr1} \wedge Pr2\right) \vee \left(Pr1 \wedge \overline{Pr2}\right) \vee \left(Pr1 \wedge Pr2\right)\right). \quad (5)$$

В случае когда данный предикат принимает значение «истина», руда является вкрапленной, в противном случае — сплошной.

Для определения природного типа руды применяется система предикатов:

$$U1 = Pr1 \wedge Pr2 \wedge Pr3 \wedge \overline{Pr4}; \quad (6)$$

$$V1 = Pr1 \wedge Pr2 \wedge Pr3 \wedge Pr4; \quad (7)$$

$$U2 = \overline{Pr1} \wedge \overline{Pr2} \wedge Pr3 \wedge \overline{Pr4}; \quad (8)$$

$$V2 = \overline{Pr1} \wedge \overline{Pr2} \wedge Pr3 \wedge Pr4; \quad (9)$$

$$U3 = \overline{Pr1} \wedge Pr2 \wedge Pr3 \wedge \overline{Pr4}; \quad (10)$$

$$V3 = \overline{Pr1} \wedge Pr2 \wedge Pr3 \wedge Pr4; \quad (11)$$

$$U4 = Pr1 \wedge \overline{Pr2} \wedge Pr3 \wedge \overline{Pr4}; \quad (12)$$

$$V4 = Pr1 \wedge \overline{Pr2} \wedge Pr3 \wedge Pr4; \quad (13)$$

$$U5 = Pr1 \wedge \overline{Pr2} \wedge \overline{Pr3} \wedge \overline{Pr4}; \quad (14)$$

$$V5 = Pr1 \wedge \overline{Pr2} \wedge \overline{Pr3} \wedge Pr4; \quad (15)$$

$$U6 = \overline{Pr1} \wedge Pr2 \wedge \overline{Pr3} \wedge \overline{Pr4}; \quad (16)$$

$$V6 = \overline{Pr1} \wedge Pr2 \wedge \overline{Pr3} \wedge \overline{Pr4}; \quad (17)$$

$$U7 = Pr1 \wedge Pr2 \wedge \overline{Pr3} \wedge \overline{Pr4}; \quad (18)$$

$$V7 = Pr1 \wedge Pr2 \wedge \overline{Pr3} \wedge Pr4. \quad (19)$$

Для определения гранулярного состава применяется предикат *Pr*5.

Функционирование системы

1. Для поступающего на переработку потока проверяется истинность предикатов *S*1, *S*2, *S*3, *S*4 (в каждом случае истинным может быть только один из этих предикатов). По номеру предиката, принявшего значение «истина», система определяет основной извлекаемый компонент.

2. Проверяется истинность предиката *T*. На данном этапе устанавливаются структурно-текстурные особенности руды, в соответствии с которыми выбираются параметры технологических процессов переработки.

3. Проверяется истинность предикатов *U*1, *V*1, ..., *U*7, *V*7. С помощью данных предикатов устанавливается природный тип руды. При любом наборе исследуемых характеристик руды значение «истина» может принять только один из предикатов. Истинность любого из предикатов *V*1, ..., *V*7 означает высокое содержание мышьяка в руде. В данных случаях после флотации должны следовать гидрометаллургические процессы, обеспечивающие получение концентрата, содержащего мышьяк в допустимой концентрации.

4. Проверяется истинность предиката *Pr*5. В случае когда данный предикат принимает значение «ложь», необходимо применение гидрометаллургических процессов.

5. Производится выбор технологического процесса.

Выводы. Предложена СППР для выбора наиболее целесообразного технологического процесса раздельной переработки рудных потоков, основанная на онтологии, включающей в себя логическую систему вывода.

Библиографический список

1. Технологические решения при переработке медноколчеданных руд / Р. А. Ягудин, Ю. Р. Ягудина, Е. А. Емельяненко // Горн. журн. 2014. № 7. С. 30–33.

2. ГОСТ Р 52998-2008. Концентрат медный. Технические условия. М., 2008. 9 с.

3. Абрамов, А. А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых руд / А. А. Абрамов. М. : МГГУ, 2004. 311 с.

4. Черняховская, Л. Р. Онтологический подход к разработке правил принятия решений в проектном менеджменте / Л. Р. Черняховская, А. И. Малахова // Информационные технологии и системы [Электронный ресурс] : тр. Второй междунар. науч. конф., Банное, Россия, 27 февр.— 3 марта 2013 г. (ИТиС – 2013) : науч. электрон. изд. / отв. ред. А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. С. 111–114.

5. 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.

6. Горбатова, Е. А. Гибридная экспертная система в гидрометаллургии / Е. А. Горбатова, М. В. Зарецкий, И. З. Шияхметова // Информационные технологии и системы [Электронный ресурс] : тр. Второй междунар. науч. конф., Банное, Россия, 27 февр.— 3 марта 2013 г. (ИТиС – 2013) : науч. электрон. изд. / отв. ред. А. В. Мельников. Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2013. С. 157–159.

7. Горбатова, Е. А. Нечеткологическое определение способа вовлечения в производство некондиционного сырья в гидрометаллургии / Е. А. Горбатова, М. В. Зарецкий, И. З. Шияхметова // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Сер. Інформатика та моделювання. 2013. № 19 (992). С. 10–15.

Сведения об авторах

Горбатова Елена Александровна — доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующая кафедрой геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова.

Емельяненко Елена Алексеевна — кандидат технических наук, доцент кафедры геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова.

Зарецкий Марк Валентинович — доцент кафедры вычислительной техники и программирования Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. mark10000110@gmail.com

---

E. A. Gorbatova, E. A. Emelianenko, M. V. Zaretsky

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE DESIGN OF THE INTEGRATED DEVELOPMENT OF THE MASSIVE SULPHIDE DEPOSITS

The decision support system, allowing selecting the most effective method for processing of the separate ore streams is proposed. The system is based on ontology that includes a logical inference subsystem.

ББК В11
УДК 51

М. А. Зарецкая, М. В. Зарецкий

КУРС ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ И МОБИЛЬНЫЕ СЕРВИСЫ

Рассмотрены проблемы использования мобильных сервисов в изучении высшей математики. Предложены принципы построения мобильного приложения, предназначенного для закрепления и контроля знаний по математике.

Постановка проблемы. Образование в режиме онлайн за последние годы приобретает все большее распространение. В течение нескольких лет принципиально изменилась техническая база онлайн-образования. Непрерывно растущие возможности мобильных устройств позволяют эффективно использовать их в учебном процессе. Не случайно стал общепризнанным термин Mobile Learning (m-learning) [1; 2]. Мы далее будем использовать русский вариант данного термина — мобильное обучение. Безусловно, новое явление, каким является m-learning, должно быть осмыслено. Необходимо выявить наиболее перспективные области применения мобильного обучения, принципы его оптимального сочетания с традиционными методами доски, мела и тетради, от которых, на наш взгляд, ни в коем случае нельзя отказываться. Кроме того, необходимо уяснить проблемы и возможные негативные явления, обусловленные широким внедрением мобильных технологий в учебный процесс.

В публикациях, посвященных проблемам мобильного обучения, убедительно показываются его положительные стороны, ярко подчеркиваются принципиально новые возможности и перспективы [3; 4]. Реже анализируются проблемы, обусловленные внедрением мобильных технологий в учебный процесс [5; 6]. Мы считаем, что необходим всесторонний анализ положительных и отрицательных сторон внедрения технологий мобильного обучения в учебный процесс.

Целью работы является анализ влияния внедрения технологий мобильного обучения в вузовский курс высшей математики, обнаружение обусловленных этим процессом проблем, формулировка одного из путей решения части проблем.

Рассматривая технологии мобильного обучения, мы предполагаем, что они профессионально разработаны в соответствии с ясно сформулированными дидактическими принципами [7]. Но студент в процессе обучения может обращаться к любым источникам. Эти источники могут быть, например, недостоверными или просто мешать проведению учебного процесса (чего стоят только хранилища рефератов, курсовых работ и т. п.). Попытки организационными или техническими средствами помешать студенту воспользоваться этими источниками (например, отслеживать и пресекать попытки студента воспользоваться мобильным устройством на экзамене), на наш взгляд, являются напрасной тратой времени, сил и средств. Наш опыт показывает, что практически невозможно пресечь попытки списать на экзамене, но никакого труда не составляет выявить незнание при устном ответе на вопрос.

Будем считать, что любой процесс мобильного обучения сопровождается информационным шумом — информацией, которую студент может почерпнуть из недостоверных источников или источников, которые в конкретной учебной ситуации использовать нецелесообразно. Наша задача состоит в том, чтобы добиться максимально возможной фильтрации подобного шума.

Перейдем к рассмотрению конкретных примеров, связанных с изучением вузовского курса математики. Отдельные вопросы применения компьютерных технологий в процессе подготовки бакалавров и магистров мы рассматривали в публикациях [8; 9].

Освоение курса математики требует глубокого понимания теории и приобретения необходимых рутинных навыков. В современных условиях у студентов часто возникает соблазн замены собственных усилий использованием для выполнения заданий готовых программных продуктов. Например, применение с указанной целью Matlab (Octave) требует от студента некоторых умственных усилий (связанных не с математическим смыслом действий, а со спецификой интерфейса программного продукта). Использование программных продуктов с интерфейсом WYSIWYG, например, MathCAD, снимает и эту проблему. На то, чтобы проследить за каждым студентом, как тот выполняет рутинные операции, у преподавателя нет времени. Таким образом, ценнейшие программные продукты в данном случае играют роль информационного шума.

Безусловно, мощные средства компьютерной математики должны изучаться в вузе. Но студент должен быть подготовлен к их изучению, понимать реализуемые в них методы. В частности, студент должен отличать реализуемые в программных средствах математические методы от удобных на практике «рационализаторских предложений». Например, в богатейшем по содержанию пакете Matlab (Octave) кроме скалярного и векторного произведений векторов реализуется «точечное произведение векторов» — вектор, компоненты которого являются произведениями сомножителей. Этот вектор удобен для использования в процессе вычислений, но не имеет

самостоятельного смысла, содержательной геометрической, физической интерпретации. То же можно сказать и о «точечном произведении матриц».

Необходимо создание ориентированного на учебный процесс мобильного приложения, которое обеспечит существенное снижение влияния информационного шума на процесс изучения математики.

Рассмотрим ряд задач, для решения которых такое приложение может быть успешно применено.

В процессе изучения линейной алгебры студент должен научиться правильно и быстро выполнять умножение матриц, распознавать случаи, когда умножение невозможно. Выходом может быть использование программного средства, которое будет отслеживать действия студента — выбрать сомножитель в первой матрице, выбрать сомножитель во второй матрице, произведение, прибавить его к накапливаемой сумме и т. д.

Более сложную проблему представляет обучение нахождению собственных чисел и собственных векторов. Аналогично рассмотренному случаю умножения матриц в данной задаче можно дойти до записи алгебраического уравнения. Для матрицы второго порядка решение квадратного уравнения также является рутинным. Для матрицы третьего порядка (а с ними студент неизбежно встретится при изучении теории упругости, теории пластичности) решение кубического уравнения (за исключением случая специально подобранных коэффициентов) нахождением всех корней является самостоятельной задачей, которую разумно рассматривать при изучении численных методов. Поэтому, на наш взгляд, учебный программный продукт должен контролировать правильность составления алгебраического уравнения и затем (если уравнение составлено правильно) выдавать студенту для дальнейшей работы его корни.

При изучении аналитической геометрии студенты пошагово выполняют задачи на нахождение уравнений прямой на плоскости и в пространстве, уравнения плоскости, уравнений кривых второго порядка. Задачи на приведение кривых второго порядка к канонической форме требуют для решения владения методами нахождения собственных векторов и собственных значений.

Еще большие сложности встречаются при изучении разделов курса высшей математики, относящихся к математическому анализу. Современные онлайн-приложения находят в аналитическом виде пределы, производные, интегралы. Студент при этом может только запомнить способы манипуляции интерфейсом. Учебное мобильное приложение должно помогать студенту в понимании непростого для новичка смысла производимых действий. Начинать, на наш взгляд, следует с мобильного практикума по пределам. Студент должен видеть, как в зависимости от заданной величины ε можно подобрать такую величину δ, чтобы значение функции отличалось по модулю от предела не более чем на ε. Расчеты должны сопровождаться графической иллюстрацией.

В предлагаемую систему упражнений органично вписывается специальное изучение первого и второго замечательных пределов.

Главной проблемой при изучении производных является поверхностное освоение манипуляций с набором формул, «таблицей производных» без понимания смысла выполняемых действий. При этом в формальных действиях с «табличными производными» может быть не больше смысла, чем в получении готовой формулы с помощью какого-либо пакета символьной математики. Учебный мобильный сервис предлагает студенту найти по определению большое количество производных. Для этого студенту необходимо осмыслить понятия, «приращение аргумента» и «приращение функции», провести небольшой численный эксперимент. Так же строго регламентируются действия студента при нахождении производных сложных функций.

Тема «Исследование функций» сочетает проверку знаний по линейной алгебре, аналитической геометрии, темам «Пределы», «Дифференцирование».

При изучении первообразных мы лишены возможности их нахождения по определению. Полученные результаты проверяются дифференцированием. Пошаговый контроль при нахождении первообразных более сложен, поскольку для его выполнения необходимы аналитические преобразования. В настоящее время предполагается реализация несложных «табличных» первообразных.

Предлагаемый программный продукт реализуется в виде мобильного приложения. Мобильная реализация позволяет работать с ним в том случае, когда стационарный компьютер недоступен. Предусматривается его применение в качестве средства тренировки и в качестве средства контроля. При использовании его в качестве средства контроля может быть предусмотрено ограничение времени на решение примера. Результаты контроля предполагается заносить в облачное хранилище.

В настоящее время проработаны основные идеи обучающего мобильного приложения и проходят проверку прототипы программных модулей.

Выводы. Предложены принципы построения мобильного приложения, предназначенного для закрепления и контроля знаний по математике, способствующего пониманию и осознанному применению программного материала.

Библиографический список

1. Mobile Learning [Электронный ресурс]. URL: http://www.unesco.org/new/en/unesco/themes/icts/m4ed

2. Educational Technology and Mobile Learning [Электронный ресурс]. URL: http://www.educatorstechnology.com

3. Kukulska-Hulme, A. Mobile Learning for quality

education and social inclusion Unesco Institute for Information Technologies in Education [Электронный ресурс] / A. Kukulska-Hulme. URL: http://iite.unesco.org/pics/publications/en/files/3214679.pdf

4. Tryus, Y. Organization and pedagogical aspects of mobile technologies support and use in higher school / Y. Tryus // Proceedings of VI International conference ITEA-2011, 2011, Nov. 22–23. Kyiv, 2011. P. 285–293.

5. Lepp, A. The relationship between cell phone use, academic performance, anxiety, and Satisfaction with Life in college students [Электронный ресурс] / A. Lepp et al. // Computers in Human Behavior. 2014. № 31. P. 343–350. URL: http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.201310.049

6. Jacobsen, W. C. The wired generation: Academic and social outcomes of electronic media use among university students / W. C. Jacobsen [et al.] // Cyberpsychology. Behavior and Social Networking. 2011. № 14 (5). P. 275–280. URL: http://dx.doi.org/10.1089/cyber.2010.0135

7. Лубіна, Є. Мобільне навчання у дидактиці вищої школи / Є. Лубіна // Вісн. Львів. університету. Сер. : Педагогіка. 2009. Вип. 25, ч. 2. С. 61–66.

8. Zaretskaya, M. The competence of students-programmers in the area of computer mathematics / M. Zaretskaya, M. Zaretsky // Proceedings of V International conference ITEA–2010, 2010, Nov. 23–24. Kyiv, 2010. P. 380–384.

9. Zaretskaya, M. Computer simulation for masters at the technical university. / M. Zaretskaya, M. Zaretsky // Proceedings of VI International conference ITEA–2011, 2011, Nov. 22–23. Kyiv, 2011. P. 209–210.

Сведения об авторах

Зарецкая Мария Андриановна — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики № 2 Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. m-zaretskaya@yandex.ru

Зарецкий Марк Валентинович — доцент кафедры вычислительной техники и программирования Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. mark10000101@gmail.com

---

M. A. Zaretskaya, M. V. Zaretsky

THE HIGHER MATHEMATICS COURSE AND MOBILE SERVICES

The problems of the mobile services using in the study of higher mathematics are considered. The principles for building mobile applications designed to consolidate and control knowledge in mathematics are proposed.

ББК У422.57
УДК 004.33

А. Г. Ионис, З. В. Максименко, О. Н. Сметанина

МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассматривается сущность рынка информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), дана оценка текущего состояния, которое характеризуется степенью развития ключевых факторов, определяющих внутреннюю структуру рынка. Описан анализ методов и моделей, используемых для оценки развития рынка, алгоритм построения модели, описаны и обоснованы методы отбора первичной информации для проведения исследования.

1. Введение

В современном мире особую значимость приобретает развитие наукоемких отраслей и высоких технологий. Именно это развитие определяет экономическое процветание государства, конкурентоспособность национальной экономики, уровень качества образования, здравоохранения, национальной безопасности — всех сфер жизни и деятельности человека. В связи с этим анализ информационно-коммуникационной деятельности необходим для оценки и улучшения как позиций страны на мировом рынке, так и для определения эффективности экономики в целом, поскольку инновационная политика в сфере информационно-коммуникационной деятельности связана с подъемом всей экономики. Первоочередной задачей при исследовании информационно-коммуникационной деятельности является оценка текущего состояния, которое характеризуется степенью развития ключевых факторов, определяющих внутреннюю структуру рынка информационно-коммуникационных технологий.

При этом для повышения эффективности процессов регулирования необходимо наличие оценочных моделей для проведения необходимых исследований рынка информационно-коммуникационных технологий. Однако моделирование оценки развития рынка и его влияния на развитие экономики страны является предметом исследования небольшого числа специалистов.

2. Рынок ИКТ как объект исследования

Рынок информационно-коммуникационных технологий в современном мире одно из важнейших явлений общественной жизни, которое затрагивает все сферы деятельности человека. Он влияет на формирование отношений внутри общества, внутри каждой отдельной страны, а также между странами. Данная отрасль является молодой, и, как следствие, перспективы ее развития очевидны — высокие темпы роста и общая рентабельность оказывают позитивное влияние на информационное общество.

Для того чтобы разобраться, что включает в себя понятие информационно-коммуникационных технологий, рассмотрим его основные компоненты.

Существуют различные классификации сегментов отрасли информационно-коммуникационных технологий, однако в российской практике пока не сложилось единого подхода. Среди наиболее распространенных следует выделить способы классификации отрасли, разработанные российскими Министерством связи и массовых коммуникаций и Министерством экономического развития и торговли и классификацию, основанную на опыте зарубежных стран.

Министерство связи и массовых коммуникаций РФ рассматривает отдельно такие сегменты рынка, как телекоммуникационные и информационные технологии, для каждой из которых формируется своя стратегия развития (рис. 1).

Министерство экономического развития и торговли РФ дает более широкую классификацию, зависящую от рассматриваемого показателя (например, разделение на материальную и нематериальную).

В зарубежной практике наибольшее распространение получила упрощенная модель разделяющая отрасль информационно-коммуникационных технологий на такие сегменты, как телекоммуникационные услуги, информационные технологии, компьютерное оборудование, программное обеспечение, офисное оборудование, сетевое оборудование и коммуникационное оборудование. Для исследования была принята классификация Министерства связи и массовых коммуникаций РФ.

Для формирования системы показателей, характеризующих развитие отрасли информационно-коммуникационных технологий, необходимо рассмотреть ряд определений.

Технологические ресурсы — организационные меры, обусловленные технологическим прогрессом и направленные на разработку средств.

Трудовые ресурсы — люди, обладающие умственными способностями и знаниями для осуществления деятельности.

Материальные ресурсы — предметы труда, необходимые при производстве товаров или оказании услуг.

Чтобы показатели в полной мере характеризовали рассматриваемую отрасль, необходимо чтобы они затрагивали все секторы. Для этого выделим обобщенные группы показателей, такие как (рис. 2):

1) человеческие ресурсы;
2) материальные ресурсы и технологии;
3) динамика числа организаций;

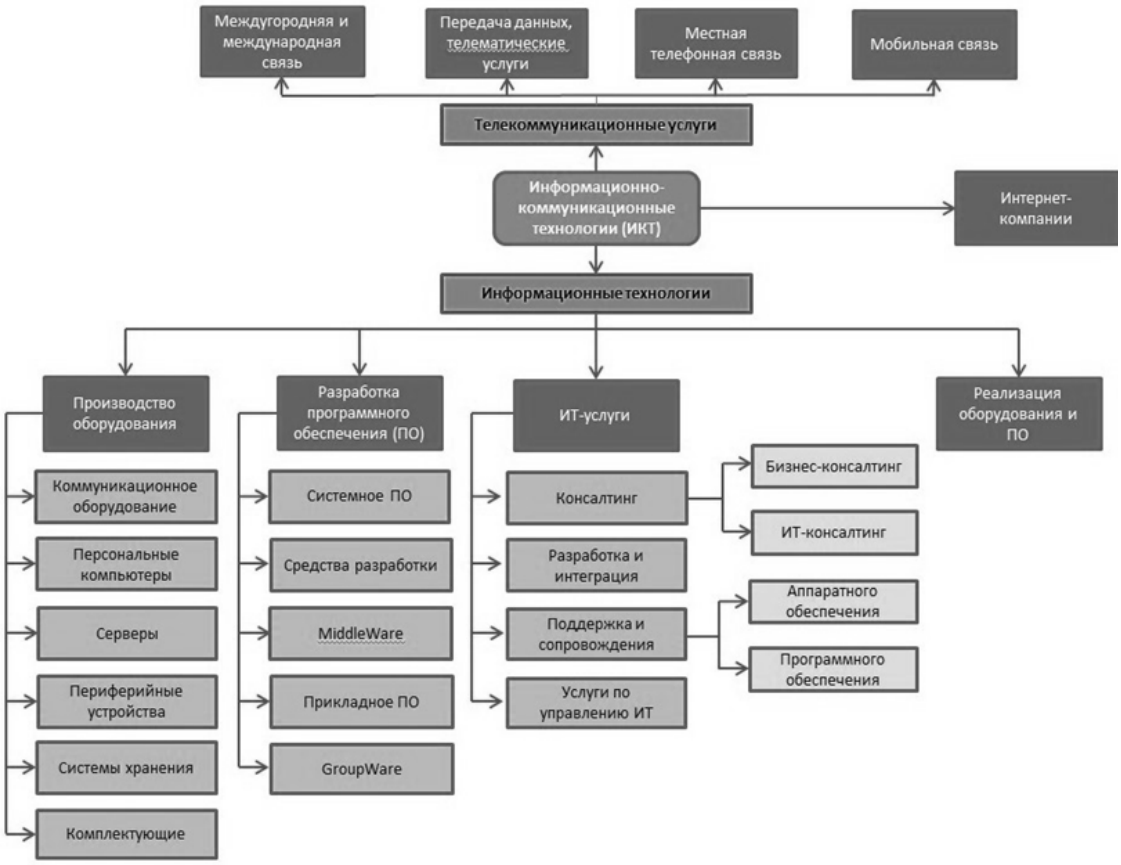


Рис. 1. Сегментация отрасли информационно-коммуникационных технологий по классификации Министерства связи и массовых коммуникаций РФ

4) экономические и финансовые показатели.

Исследуемый набор показателей состоит из 11 пунктов, каждый из которых относится к одной из выделенных групп:

– число персональных компьютеров;
– затраты организаций на ИКТ;
– выпуск специалистов с высшим профессиональным образованием в области ИКТ;
– число организаций, использующих ИКТ;
– число организаций, использующих Интернет;
– численность работников в сфере ИКТ;
– число организаций, имеющие вебсайты;
– число организаций, использующих персональные компьютеры;
– валовая добавленная стоимость в ИКТ;
– использование специальных программных средств;
– разработанные передовые технологии.

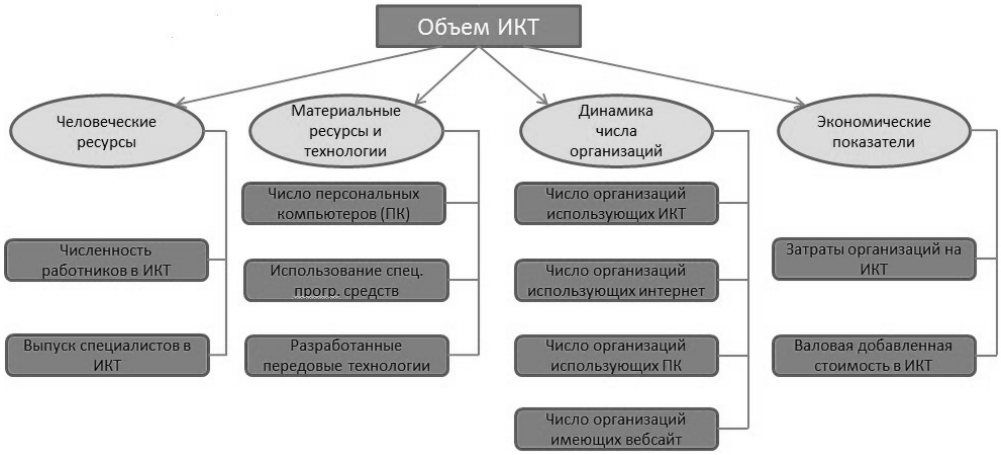


Рис. 2. Показатели, характеризующие развитие ИКТ

3. Предлагаемый подход

Анализ научной литературы показывает, что исследования отрасли информационно-коммуникационных технологий на основе экономико-математического моделирования проводятся для решения отдельных аспектов изучаемой проблемы. Вместе с тем добиться качественного моделирования ситуации можно только в случае учета как общих факторов, влияющих на развитие рынка информационно-коммуникационных технологий, так и индивидуальных особенностей отрасли. Одним из возможных вариантов решения могут являться эконометрические инструменты факторного анализа данных. Выбор в пользу подобного подхода обусловлен следующими обстоятельствами:

1) факторный анализ позволяет определить структуру данных;

2) он позволяет проверять частные гипотезы о факторной структуре для множества переменных в одной или нескольких выборках;

3) при помощи него можно провести редукцию данных;

4) в факторном анализе ориентация векторов базиса выбрана таким образом, что каждый новый базисный вектор «объяснял» все меньше и меньше величину статистики *Хи-квадрат* (или инерции);

5) факторный анализ позволяет выделить, на что следует обратить внимание для регулирования исследуемого процесса.

Исходными данными для факторного анализа является таблица показателей, предварительно прошедших проверку на достоверность и приведение к темповым показателям.

На первом шаге процедуры факторного анализа происходит стандартизация заданных значений отклонений от тренда (z-преобразование), затем при помощи стандартизированных значений рассчитываются корреляционные коэффициенты Браве — Пирсона между рассматриваемыми показателями.

Корреляционная матрица является исходным элементом для дальнейших расчетов. Для построения матрицы определяются собственные значения и соответствующие им собственные векторы, при определении которых используются оценочные значения диагональных элементов матрицы (рис. 3).

Метод главных компонент — метод, который лежит в основе большинства методов ФА. Он преобразует набор коррелирующих исходных переменных в другой набор — некоррелирующих переменных. Анализ главных компонент можно представить как преобразование информации, содержащейся в исходных данных. Так, определяя главную компоненту как направление, в котором наблюдается наибольший разброс объектов, представляя объекты в единицах измерения по этой оси, мы теряем минимум информации об отличии объектов друг от друга. Результат применения метода главных компонент отражен на рис. 4.

Для лучшей интерпретации полученных общих факторов к ним применяется процедура вращения. Дело в том, что определенному эмпирическому материалу соответствует бесконечно много разных наборов общих факторов, удовлетворяющих какой-либо из моделей факторного анализа. Это такие наборы векторов, которые образуют разные ортогональные базисы одного и того же m-мерного линейного подпространства, так что переход от одного набора общих факторов к другому можно представлять себе геометрически как «вращение» первоначального набора в пределах самого линейного подпространства, в котором первоначальный набор является базисом. Для того чтобы выделить из бесконечного числа возможных наборов общих факторов некоторый единственный набор «истинных» факторов, необходимо высказать некоторую гипотезу о свойствах такого набора, отличающих его от всех остальных [2].

Как показывают многочисленные применения факторного анализа, возможность связать факторы с какими-то группами параметров, которые позволяют придать каждому фактору некоторый «смысл», — это не удачное исключение, а достаточно типичная ситуация. Этот факт может быть объяснен следующим образом. Разные существенные внутренние свойства изучаемого явления неодинаково сказываются на различных параметрах, описывающих это явление, и те параметры, на которые наиболее сильно влияет одно из свойств, должны быть, как правило, более сильно

Корреляции (Таблица данных1)
Построчное удаление ПД
N=10

Переменная	**число пк**	затраты	специалисты	использование икт	использование инет	работники	вебсайт	пк	вдс	использвание спецср	передтех
число пк	1,00	0,91	0,88	0,94	0,99	-0,82	0,95	0,86	0,94	0,87	0,75
затраты	0,91	1,00	0,64	0,92	0,88	-0,77	0,97	0,60	0,79	0,60	0,93
специалисты	0,88	0,64	1,00	0,81	0,91	-0,69	0,75	0,95	0,89	0,98	0,38
использование икт	0,94	0,92	0,81	1,00	0,93	-0,89	0,94	0,75	0,81	0,76	0,77
использование инет	0,99	0,88	0,91	0,93	1,00	-0,82	0,93	0,86	0,95	0,90	0,70
работники	-0,82	-0,77	-0,69	-0,89	-0,82	1,00	-0,79	-0,62	-0,63	-0,66	-0,67
вебсайт	0,95	0,97	0,75	0,94	0,93	-0,79	1,00	0,72	0,85	0,72	0,89
пк	0,86	0,60	0,95	0,75	0,86	-0,62	0,72	1,00	0,87	0,97	0,37
вдс	0,94	0,79	0,89	0,81	0,95	-0,63	0,85	0,87	1,00	0,91	0,60
использвание спецср	0,87	0,60	0,98	0,76	0,90	-0,66	0,72	0,97	0,91	1,00	0,36
передтех	0,75	0,93	0,38	0,77	0,70	-0,67	0,89	0,37	0,60	0,36	1,00

Рис. 3. Корреляционная матрица показателей развития отрасли информационно-коммуникационных технологий

Перемен.	Фактор.нагрузки (без вращ.) (Таблица данных1) Выделение: Главные компоненты (Отмечены нагрузки >,700000) **Фактор 1**	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5	Фактор 6	Фактор 7	Фактор 8	Фактор 9
число пк	-0,997043	0,013831	-0,046470	-0,030717	0,011038	-0,040825	0,026367	0,004845	0,010159
затраты	-0,902625	0,405335	-0,101352	0,018014	-0,069294	-0,046700	0,053656	-0,022638	0,000979
специалисты	-0,895254	-0,417418	0,052781	0,017732	-0,078825	0,112424	-0,001082	-0,048224	0,001553
использование икт	-0,956368	0,153003	0,167174	0,058651	-0,154436	-0,048918	-0,063390	0,017382	-0,000022
использование инет	-0,992781	-0,051235	-0,015829	-0,098507	-0,019903	0,013800	0,020942	0,021260	0,018163
работники	0,837427	-0,181396	-0,502350	0,072338	-0,088391	0,008743	-0,012314	0,010659	0,008245
вебсайт	-0,953326	0,259884	-0,092036	0,070476	-0,007801	0,084517	0,028628	0,043450	-0,016746
пк	-0,864759	-0,453687	-0,032981	0,186084	0,070928	-0,072778	0,012135	-0,012601	-0,003335
вдс	-0,930379	-0,185268	-0,261262	-0,169625	0,007679	-0,042230	-0,026711	-0,013752	-0,017178
использвание спецср	-0,879788	-0,466492	-0,005257	-0,006408	0,078681	0,020328	-0,023309	0,033211	0,006197
передтех	-0,739406	0,641097	-0,149209	0,048852	0,115334	0,035682	-0,049577	-0,022963	0,007936
Общ.дис.	9,054838	1,333982	0,395878	0,090753	0,067840	0,035056	0,012865	0,007595	0,001192
Доля общ	0,823167	0,121271	0,035989	0,008250	0,006167	0,003187	0,001170	0,000690	0,000108

Рис. 4. Факторный анализ, метод главных компонент

связаны между собой, чем с другими параметрами, и образовывать, следовательно, достаточно изолированную группу. И наоборот, каждая достаточно изолированная группа сильно связанных параметров именно потому и оказалась изолированной группой, что есть некоторое существенное свойство изучаемого явления, которое оказывает сильное влияние на все параметры данной группы.

В ходе факторного анализа были рассмотрены различные способы группировки данных. На основе проверки по критерию Кайзера и графику каменистой осыпи целесообразным является выделение двух факторов. Наиболее полную картину при этом дает вращение критерием «биквартимакс». Первый фактор показывает интенсивное развитие отрасли информационно-коммуникационных технологий, а второй экстенсивное (рис. 5).

Поскольку анализируются характеристики развития отрасли информационно-коммуникационных технологий и степень их влияния на результативные показатели, связь между которыми является неполной, и определяется корреляционным оцениванием, то моделирование поведения этих факторов будет являться стохастическим, в основе которого лежит корреляционно-регрессионный анализ. Основное преимущество регрессионного анализа заключается в возможности получения весьма достоверных результатов и точных прогнозов. Прежде чем выбрать окончательную модель, наилучшим образом описывающую развитие отрасли информационно-коммуникационных технологий, опишем уравнения факторов, полученных в ходе факторного анализа:

$$F_1 = -0,595475 \cdot x_1 + 0,977880 \cdot x_2 + 0,836832 \cdot x_3 + \\ + 0,992507 \cdot x_4 + 0,286941 \cdot x_5 + 0,721727 \cdot x_6 + \\ + 0,867525 \cdot x_7 + 0,972652 \cdot x_8 + 0,669594 \cdot x_9 + \\ + 0,549755 \cdot x_{10} + 0,894163 \cdot x_{11};$$

Перемен.	Фактор.нагрузки (Биквартим. исх.) (Таблица данных1) Выделение: Главные компоненты (Отмечены нагрузки >,700000) **Фактор 1**	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4	Фактор 5	Фактор 6	Фактор 7	Фактор 8	Фактор 9
число пк	0,836832	0,536694	0,077972	0,041002	0,001049	0,044033	0,042499	-0,001108	0,012785
затраты	0,549755	0,824433	0,045970	0,029283	0,069392	0,011531	0,100652	-0,005449	0,000428
специалисты	0,977880	0,111804	0,084354	-0,007468	0,049106	-0,147109	-0,000113	0,004643	-0,002375
использование икт	0,721727	0,599626	0,258037	-0,023303	0,228451	-0,014486	0,005730	0,000632	0,000197
использование инет	0,867525	0,471313	0,103871	0,109315	0,006300	-0,002435	0,028092	0,027758	0,030350
работники	-0,595475	-0,504851	-0,624920	0,002086	-0,001646	0,001366	-0,000257	-0,000635	-0,000336
вебсайт	0,669594	0,734239	0,037030	-0,028217	0,007157	-0,057074	-0,001353	0,084024	-0,000040
пк	0,972652	0,089145	-0,008678	-0,201075	-0,010300	0,063467	0,006614	-0,030833	-0,019152
вдс	0,894163	0,362066	-0,139327	0,202015	-0,046599	0,070818	0,010488	-0,037218	-0,021814
использвание спецср	0,992507	0,071779	0,046236	-0,012747	-0,058100	0,022480	-0,056055	0,018706	0,010194
передтех	0,286941	0,951635	0,024505	-0,009601	-0,075901	0,012487	-0,066768	-0,031251	-0,003429
Общ.дис.	6,848188	3,405697	0,506802	0,097384	0,070926	0,036893	0,020515	0,011546	0,002049
Доля общ	0,622563	0,309609	0,046073	0,008853	0,006448	0,003354	0,001865	0,001050	0,000186

Рис. 5. Вращение по критерию «биквартимакс»

$$F_2 = -0,504851 \cdot x_1 + 0,111804 \cdot x_2 + 0,536694 \cdot x_3 + \\ + 0,071779 \cdot x_4 + 0,951635 \cdot x_5 + 0,599626 \cdot x_6 + \\ +0,471313 \cdot x_7 + 0,089145 \cdot x_8 + 0,734239 \cdot x_9 + \\ + 0,824433 \cdot x_{10} + 0,362066 \cdot x_{11}.$$

Для того чтобы получить адекватную модель, отражающую зависимость между факторами и объемом отрасли информационно-коммуникационных технологий, за основу было принято, что развитие сектора ИКТ подчиняется ряду законов и закономерностей, среди которых основополагающим является логистический закон (метод S-кривой), отражающий рост и насыщение рынка ИКТ [3–5].

Для обоснования выбора модели был построен график, показывающий рост объема отрасли с 2003 по 2012 г. (рис. 6).

Подобный вид выпуклостей на графике (рис. 6) говорит о том, что модель, описывающая взаимосвязь между развитием отрасли информационно-коммуникационных технологий и факторами, выделенными в ходе факторного анализа, может быть описана степенной или показательной функцией, а также полиномом второй степени. Спад в точке «Наблюдение 7» (2009 г.) объясняется финансово-экономическим кризисом страны (2009–2010 гг.).

Наибольшее распространение в практике расчета нелинейных систем при случайных воздействиях получил приближенный метод, называемый методом статистической линеаризации, разработанный в 1954 г. одновременно И. Е. Казаковым в СССР и Р. Бутоном в США.

Идея метода основана на приближенной замене нелинейных преобразований и процессов, статистически эквивалентными им линейными преобразованиями, при этом нелинейный элемент заменяется статистически эквивалентным линейным элементом.

Показательная модель множественной регрессии имеет вид

$$y = a \cdot b_1^{F_1} \cdot b_2^{F_2}.$$

Для линеаризации данной модели применим логарифмирование:

$$\ln y = \ln a + \ln(b_1) \cdot F_1 + \ln(b_2) \cdot F_2.$$

Итоговые значения показателей для данной модели приведены на рис. 7.

Итоговая модель развития отрасли информационно-коммуникационных технологий согласно формуле имеет вид

$$y_1 = 62,80863 \cdot 1,00077^{F_1} \cdot 0,999996^{F_2}.$$

Построенная модель развития отрасли информационно-коммуникационных технологий наглядно демонстрирует, что данная отрасль является развивающейся. Ключевыми показателями данного раз-

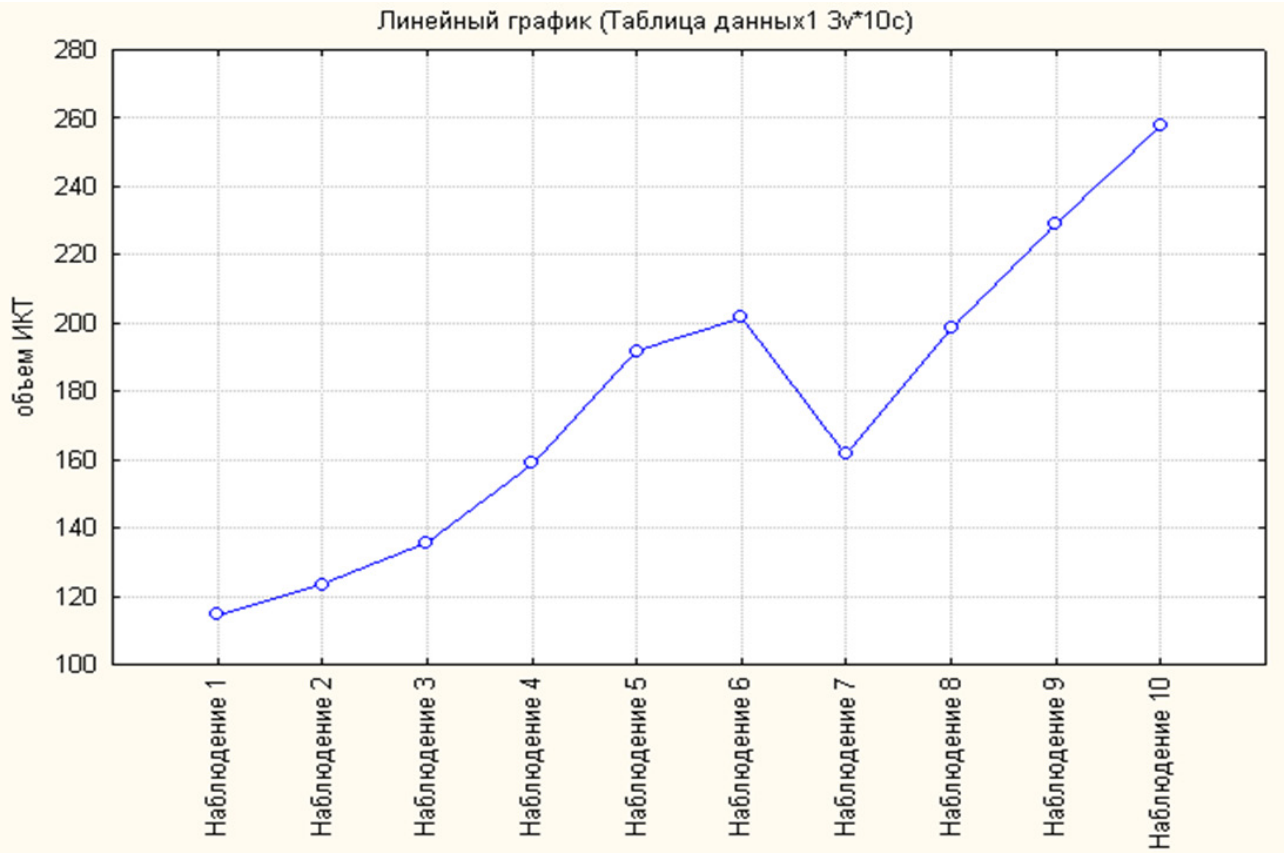


Рис. 6. Объем отрасли информационно-коммуникационных технологий с 2003 по 2012 год

Модель: v8=log(a)+v6*log(b1)+v7*log(b2) (Таблица данных1)
Зав. Пер. : ИКТ
Уров. значимости: 95.0% (альфа=0.050)

	Оценка	Стандарт ошиб.	t-знач. cc = 7	p-уров.	Ниж. Дов Предел	Вер. Дов Предел
a	62,80863	11,02643	5,696	0,000738	36,73527	88,88199
b1	1,00077	0,00043	2320,693	0,000000	0,99975	1,00179
b2	0,999996005212599	0,00048	2070,998	0,000000	0,99885	1,00114

Рис. 7. Модель показательной функции

вития являются количественные характеристики, в то время как развитие качественных характеристик находится на крайне низком уровне.

Полученная модель развития информационно-коммуникационных технологий, а также анализ данной области позволяют сделать следующие выводы:

1. Основной вклад в развитие отрасли информационно-коммуникационных технологий вносят количественные показатели, такие как: численность персональных компьютеров, число организаций, использующих ИКТ, число организаций, использующих интернет, и т. д.

2. Развитие качественных характеристик в отрасли ИКТ находится на низком уровне.

3. Россия достаточно медленно улучшает свои позиции на мировом рынке.

Заключение

Проведенный анализ показал несбалансированность развития сектора ИКТ, для которого характерна экстенсивная траектория. Переход на экспоненциальную модель развития инноваций в данной отрасли за счет разработки оптимальных бизнес-моделей ее развития — первоочередная задача государства, так как преодоление последствий дисбаланса в этом секторе экономики создает условия для формирования новых рынков и активного использования новых технологий во всех отраслях экономики.

В дальнейшем предполагается исследование использования и влияния отрасли ИКТ на социально-экономическое состояние в разрезе регионов и отраслей экономики с целью выработки стратегии их выравнивания с позиций проникновения в них информационно-коммуникационных технологий.

Библиографический список

1. Ионис, А. Г. Подходы к оценке влияния информационно-коммуникационных технологий на экономическое развитие страны: критический анализ / А. Г. Ионис, А. Д. Мечинзов, Л. Ф. Розанова // Intelligent Technologies for Information Processing and Management (ITIPM'2015) : тр. междунар. конф. Уфа, 2015. Т. 1. С. 101–107.

2. Айвазян, С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. М. : ЮНИТИ, 1998. 1012 с.

3. Газета IT-News. 2013. № 8 [Электронный ресурс]. URL: http://www.it-weekly.ru/analytics

4. Зимин, К. В. Влияние информационных технологий на производительность российского предприятия: методология эмпирического исследования [Электронный ресурс] / К. В. Зимин, А. В. Маркин, К. Г. Скрипкин // Бизнес-информатика. 2012. № 1 (19). С. 40–48. URL: http://ecsocman.hse.ru/data/2012/06/06/1271384056/6.pdf

5. Максименко, З. В. Моделирование макроэкономического равновесия и динамики : учеб. пособие / З. В. Максименко, Л. Ф. Розанова. Уфа, 2008. 81 с.

6. Российский статистический ежегодник [Электронный ресурс]. URL: http://www.gks.ru

Сведения об авторах

Ионис Анна Григорьевна — аспирант 1-го года обучения кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. solomonarmkeys@gmail.com

Максименко Зоя Викторовна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. zubazzz@mail.ru

Сметанина Ольга Николаевна — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. smoljushka@mail.ru

A. G. Ionis, Z. V. Maksimenko, O. N. Smetanina

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES INDUSTRY DEVELOPMENT MODEL

This paper regards the essence of the information and communication technologies market (ICT), the current situation assessment is given, which is characterized by development level of the key factors that determine the internal structure of the market. The analysis of methods and models that are used for the market development assessment and the algorithm of model construction are described, the methods of selection of source information for the research are described and justified.

ББК Е081.23
УДК 577.344

М. А. Кирюшкин, Д. В. Пашкевич

ОРГАНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВЛИЯНИЯ СВЕТА ОПРЕДЕЛЁННОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ СУТОЧНОГО РЕЖИМА НА РАСТЕНИЯ

Приводится описание эксперимента, проводимого в ходе работы над проектом «Автономная теплица», по исследованию влияния света специального спектра и длительности суточного режима на рост и развитие растений, с использованием программно-технической лабораторной установки. Дается обоснование принятых программно-технических решений для проведения эксперимента и возможностей, которые открывает использование инфракрасных камер для выявления болезней растений.

Введение. В рамках проекта «Автономная теплица» по созданию полностью автоматизированный теплицы, в которой выращивание растений происходит без участия человека, проводится эксперимент по исследованию влияния света специального спектра и длительности суточного режима на рост и развитие растений.

В агропромышленном комплексе, фермерских хозяйствах, на садовых участках или в домашних условиях применяется закрытое культивирование — искусственное создание и моделирование естественной окружающей среды (без вредных факторов).

На развитие растений, кроме прочих, влияют следующие процессы: фотосинтез, фотоморфогенез, фотопериодизм [1].

Определение 1

Фотосинтез — процесс преобразования энергии света в энергию химических связей органических веществ.

Определение 2

Фотоморфогенез —процессы, происходящие в растении под влиянием света различного спектрального состава и интенсивности.

Определение № 3

Фотопериодизм — реакция организмов на суточный ритм освещения, то есть на соотношение светлого (длина дня) и темного (длина ночи) периодов суток, выражающееся в изменении процессов роста и развития.

В зависимости от географического расположения растения подразделяются на три типа:

1) нейтральные к длительности дня (развиваются как нецветущие, так и цветущие растения);

2) короткого дня (требуется менее 12 ч светлого времени);

3) длинного дня (требуется более 12 ч светлого времени) [2].

Стоит отметить, что для одних растений требуется чередование суточных режимов (только тогда они начинают давать бутоны, плоды или цветут), а для других не требуется.

Выбор освещения. На Земле существует огромное количество различных световых условий: от сумеречных зон до зон с высоким количеством освещения (высокогорья, пустыни и т. д.) [2].

Одним из факторов, который необходимо воссоздать для выращивания растений в тепличных условиях, является солнечный свет. Для создания искусственного освещения используются различные виды ламп: люминесцентные, газоразрядные, накаливания, плазменные и LED (светодиоды).

Для проведения данного эксперименты были выбраны светодиоды.

Светодиоды в отличие от других источников освещения имеют точные показатели длины волны, более надежны, имеют длительный срок износа (около 50 000 ч), не содержат вредных и хрупких материалов [3; 10].

Светодиодные светильники могут быть расположены близко к растениям, так как практически не выделяют тепла. Важной особенностью является то, что ими легко управлять с помощью программного обеспечения и микроконтроллера [Там же].

Благоприятное влияние на развитие растений оказывает свет видимого спектра излучения — 390–710 нм (фотосинтетически активная радиация — ФАР). Под воздействием этого спектра протекают процессы образования хлорофилла, деление и растяжение клеток, происходит рост растений и т. д. [2; 10].

Длина волны и соотношение длительности дня к длительности ночи оказывают большое влияние на процесс фотопериодизма.

Благоприятный спектр излучения для растений: синий — с длиной волны в диапазоне 430–470 нм (способствует синтезу хлорофилла, сдерживает рост стебля) и красный — с длиной волны в диапазоне 640–660 нм (способствует цветению, росту стеблей) [3–5; 10; 11].

Так как на развитие растений оказывает влияние различная длительность суток и спектр светового излучения, то было принято решение изучить это влияние.

Гипотезы. Выдвинуты следующие гипотезы:

– растущие под смешанным спектром (красный и синий) растения, будут иметь оптимальные параметры высоты и качества урожая, в отличие от растений,

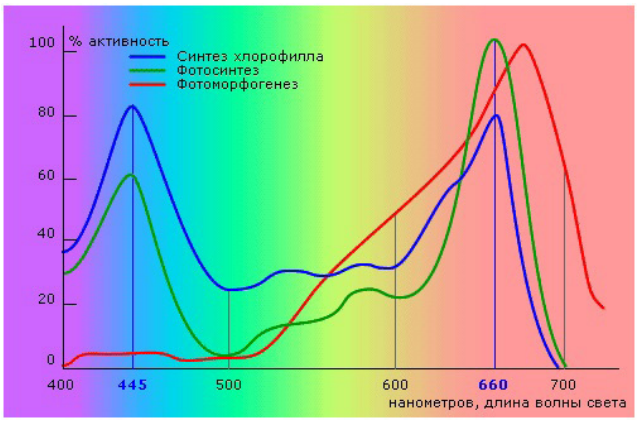


Рис. 1. График наиболее подходящих длин волн для фотосинтеза

выросших только под красным или только под синим светом;

– лучший результат будет получен для растений, которые росли постоянно в одном суточном режиме;

– лучший результат даст направление с самым коротким суточным режимом;

– лучший результат покажут растения, для которых осуществляются перестановки с одного суточного режима на другой;

– «фиолетовый» спектр не будет влиять на пигментацию растений;

– по фотографиям с инфракрасной камеры возможно определить состояние растений.

Анализ результатов эксперимента будет осуществляться на основе измерения массы каждого куста и анализа на содержание полезных веществ. Дополнительно будет проведён анализ фотографий, получаемых инфракрасной камерой и камерой привычного (обычного для человека) спектра.

Описание лабораторной установки. Для проведения эксперимента собрана лабораторная установка, включающая в себя специальный LED-светильник на основе красных и синих светодиодов с необходимой благоприятной длиной волны для растений.

В качестве первого растения, над которым проводится опыт, выбран салат «Айсберг» (27 кустов).

Лабораторная установка состоит из следующих компонентов: контейнер — коробка большого размера, микроконтроллер Arduino Uno, LED-светильники специального спектра (в дальнейшем фитосветильники), светильники белого света, 2 камеры (обычная и инфракрасная камеры), геркон, 3 motor shield, реле, блок питания на 24 В, ноутбук, веб-приложение, приложение для ПК, семена салата, коробочки под рассаду, грунт.

Выбор компонентов для железной части (Hardware) был основан на том, что платформа Arduino позволяет подключать любые необходимые компоненты и строить решение в минимальные сроки с использованием языка программирования, основанном на C/C++.

В качестве контейнера для проведения наблюдений была выбрана обычная картонная коробка размером 120×76×80 см, которая разделена на три секции.

Каждая секция — это область промоделированных суток: коротких суток (12 ч), стандартных суток (24 ч) и длинных суток (36 ч). Сутки моделируются расположенными над секциями независимыми друг от друга фитосветильниками.

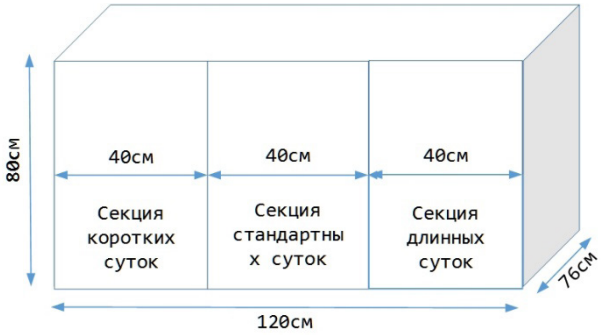


Рис. 2. Схема контейнера для проведения эксперимента

Один фитосветильник состоит из четырех пластин, на которых закреплены светодиоды красного и синего цвета с нужной длиной волны, в соотношении: ~60 % красных светодиодов и ~40 % синих светодиодов.

Фитосветильники располагаются на расстоянии 20–30 см над растениями. Расстояние влияет на уровень освещенности на поверхности растений, на качество и количество урожая [10].

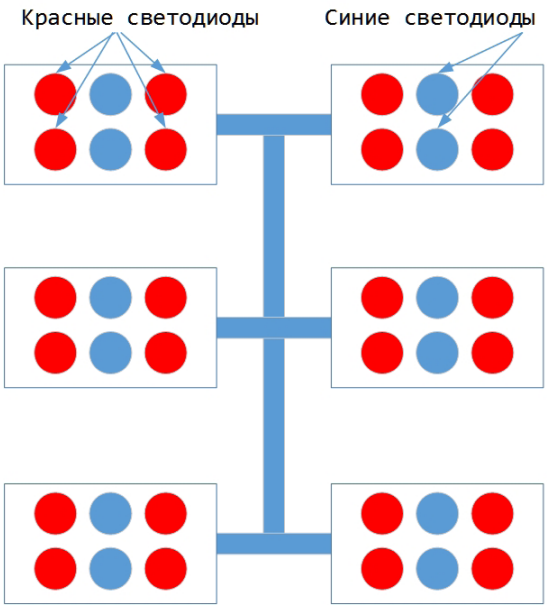


Рис. 3. Схема расположения светодиодов для фитосветильника

Контроль длительности суток осуществляется за счет задания определенной задержки в коде прошивки микроконтроллера Arduino и ШИМ через motor shield таким образом, чтобы на каждой секции в первой половине дня суточного режима наблюдалось

плавное нарастание яркости, а во второй — плавное угасание.

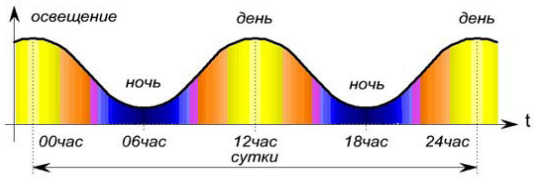


Рис. 4. Пример, отображающий протекание суточного режима

Формула для расчёта задержки:

$$DELAY = \frac{\text{Len}\left(\text{суток}\left(\text{ч}\right)\right) \cdot 60\ \text{мин} \cdot 60\ \text{с} \cdot 1\,000}{2 \cdot 255},$$

где Len(суток(ч)) — длительность суток, ч; 1 000 — перевод значения в микросекунды; 2 — половина суточного дня (нарастание/затухание); 255 — значение для управления ШИМ (значение, для управления напряжением от 0 до 255, на Motor Shield).

Рис. 5. Motor Shield

Определение 4

Motor Shield — плата расширения для Arduino, предназначенная для двухканального управления скоростью вращения и направления двигателей. В нашем случае вместо двигателей используется другая нагрузка — светильники. Наши шилды поддерживают работу при напряжении 24 В и максимальным током до 2 А на канал [6].

Плата расширения была выбрана исходя из того, что вся установка (за исключением микроконтроллера Arduino, который не может пропустить через свои input/output порты напряжение более 5 В, и камер наблюдения) питается от блока питания на 24 В [6].

Для того чтобы исследовать влияние спектра фитосветильников и длительности суточного режима на салат, в каждую секцию помещается по 9 кустов салата.

Салат в своём жизненном цикле проходит две важные для нас стадии: стадию проращивания и стадию роста (накопление массы). Согласно эксперименту, в момент, когда для куста наступает вторая стадия, он должен быть перемещен в секцию с другой длительностью суток. Этим мы проверяем влияние смены длительности суток на различных стадиях роста растения.

Рис. 6. Блок питания на 24 В

3 куста будут постоянно находится в одной секции, и еще по 3 куста из 6 оставшихся будут перемещены в секции с другой длительностью суток.

В установке будет задействован геркон — в качестве датчика для определения открытия двери. Его использование необходимо для обслуживания установки, для осуществления контроля за ростом растений, полива и перемещения контейнеров с салатом из одной секции в другую.

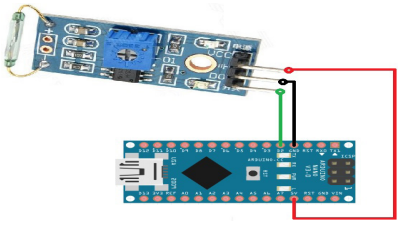


Рис. 7. Геркон

Полив для каждой секции осуществляется в одно и то же время — это необходимо, так как для чистоты эксперимента часть влияющих факторов должна быть постоянной (постоянная температура, постоянная влажность воздуха).

По реакции геркона осуществляется управление освещением через реле.

Когда цепь разомкнута — открыта дверь установки — эксперимент прерывается, загорается белый свет и гаснет свет фитоламп во всех секциях. При этом для каждой фитолампы сохраняется состояние, в котором она находилась на момент выключения.

Использование камер. Камеры используются для того, чтобы можно было проследить все моменты

Рис. 8. Лампа белого света

развития растений. Они подключаются через USB-порты к ПК.

Камеры располагаются за всеми типами светильников — сверху, на крышке лабораторной установки.

Стандартная камера осуществляет фотографирование каждые 15 минут и делает принудительную фотографию, когда открывается дверь установки или когда на Arduino приходит сигнал на выключение фитосветильников и включение белого света (наблюдающий за ходом эксперимента посылает сигнал с ПК, открыта дверь установки).

Снимки позволят осуществлять визуальный контроль за развитием растений.

Инфракрасная камера осуществляет фотографирование только в моменты, когда загорается лампа белого света и выключаются фитосветильники. Послав сигнал с ПК, можно также принудительно сделать фотографию этой камерой.

Тепловой анализ. Фотографии, полученные инфракрасной камерой, представляют наибольший интерес.

Известно, что большой вред сельскому хозяйству наносят различные болезни растений. Для того чтобы как-то анализировать состояние растений и выделять фенотип болезней, используются различные методы анализа:

– изображений, полученных при флуорисценции хлорофилла (взаимодействие электромагнитного излучения с веществом);

– гиперспектральных изображений (трехмерный массив данных (куб данных), который включает в себя пространственную информацию (2D) об объекте, дополненную спектральной информацией (1D) по каждой пространственной координате);

– тепловых изображений [12–14].

Инфракрасная камера позволит провести анализ тепловых изображений, который поможет определить состояние растений: болеют или не болеют, хватает ли им питательных веществ или нет, а также определить влияние тех или иных факторов, которые можно смоделировать (например, недостаток/переизбыток влаги) на растения и т. д. [12].

Предположение основано на том, что в зависимости от состояния, в котором находится растение, оно излучает тепло в окружающую среду по-разному, то есть если растение здорово, то оно имеет одни показатели температуры, а если больное, то другие — более высокое/низкое значение относительно нормального [12].

В дальнейшем планируем поставить эксперименты исключительно по направлению теплового анализа. В рамках текущего эксперимента необходимо определить техническую возможность такого анализа.

Программное обеспечение. Для проведения эксперимента было создано веб-приложение, в котором можно создавать разделы с экспериментами. Внутри раздела можно записывать ход эксперимента с возможностью прикрепления нескольких фотографий и словесного описания для каждого наблюдения.

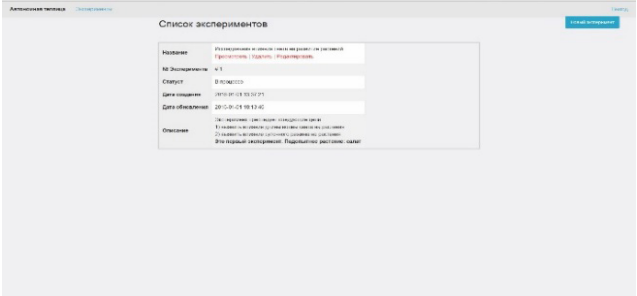


Рис. 9. Список экспериментов

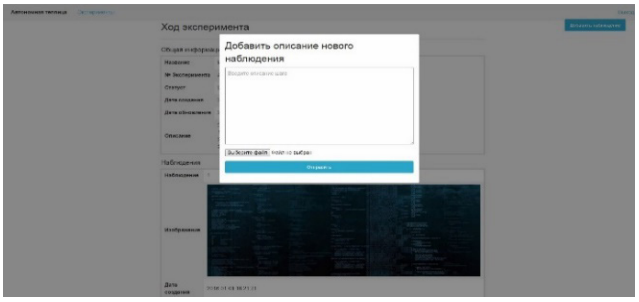


Рис. 10. Форма для записи результатов наблюдения

Веб-приложение написано на языке PHP с использованием фреймворка Slim и Eloquent ORM — для работы с базой данных [7; 8].

Было написано приложение для ПК, для того чтобы наблюдающий за экспериментом мог делать фотографии на протяжении эксперимента в принудительном режиме, если это потребуется, а также с помощью приложения осуществляется настройка Arduino:

– установка суточного режима над секциями;

– включение/выключения света.

Приложение для ПК необходимо, так как обеспечивает бóльшую надежность работы экспериментальной установки. Эти опасения связаны с тем, что геркон или реле могут не сработать или сработать не так, как нужно, или произойдут какие-то другие непредвиденные обстоятельства, а также если человек не имеет опыта в программировании, он легко сможет решить возникшие проблемы, просто изменив на ходу нужные настройки.

Приложение для ПК написано на C# с использованием библиотеки AForge (динамическое определение подключенных камер; простая работа с видеопотоком) [9].

Итог. После того, как был произведен анализ потребности в подобного рода экспериментах для сельского хозяйства, была спроектирована и создана вышеописанная установка [12].

Проведение данного эксперимента позволит собрать обучающую выборку фотографий для анализа состояния растений и этапов роста — для того, чтобы использовать эти результаты для реализации проекта «Автономная теплица», которая сможет пре-

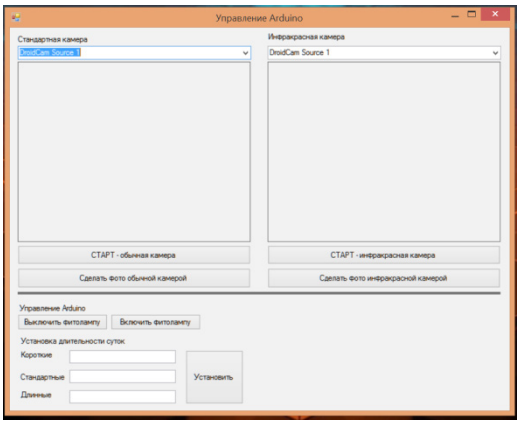


Рис. 11. Скриншот приложения для ПК

доставлять пользователю информацию о состоянии растения и передавать метрики роста.

Исследование влияния определенного спектра света и длительности суточного режима на развитие растений для дальнейшего развития проекта «Автономная теплица» играет важную роль, так как позволит найти гибкий подход к управлению освещением для выращивания того или иного типа растения. В дальнейшем этот же эксперимент будет проведен на других типах растений.

В ближайшее время планируется использовать компьютерное зрение, чтобы обрабатывать новые фотографии растений, полученные в ходе экспериментов в автоматическом режиме, попробовать собрать выборку фотографий при помощи гиперспектрального или флуорисцентного метода.

Также ведется работа по сборке модульного светильника с возможностью настройки различных режимов освещения и свободной заменой светодиодов и компонентов.

Одним из следующих шагов в развитии проекта намечено исследование различных видов «почвы»: песок, грунт, аэропоника и гидропоника, чтобы выяснить, какие проблемы могут возникать при использовании того или иного варианта, и выбрать самый оптимальный для экономичного автоматизированного выращивания растений вариант.

Библиографический список

1. Фотопериодизм [Электронный ресурс] // Биология : справ. юного натуралиста. URL: http://bit.ly/1l5LRQ7 (Дата обращения 7.01.2016).

2. Свет и его роль в жизни растений и животных [Электронный ресурс] // Проект «Вся биология». URL: http://bit.ly/1PrchUO (Дата обращения 10.10.2015).

3. Ollie, M. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality / M. Ollie, A. Virsille // Agricaltural and food science. 2013. Vol. 22, № 2. P. 223–234.

4. Влияние спектра света светодиодных фитоламп и фитосветильников на рост и развитие растений [Электронный ресурс] // Компания «ДжиЭль». URL: http://bit.ly/1OhYphG (Дата обращения 25.12.2015).

5. Фитолампы для растений, магазин в СПб, фитолампы и фитосветильники! [Электронный ресурс]. URL: http://letsgrow.ru/ (Дата обращения 20.10.2015).

6. Амперка [Электронный ресурс] // Motor Shield. URL: http://bit.ly/1niiuff (Дата обращения 05.01.2016).

7. Slim a micro framework for PHP [Электронный ресурс] // Slim Framework. URL: http://www.slimframework.com/ (Дата обращения 01.01.2016).

8. Eloquent ORM | Laravel по-русски [Электронный ресурс] // Eqloquent ORM. URL: https://laravel.ru/docs/v4/eloquent (дата обращения 01.01.2016)

9. AForge.NET. Computer Vision, Artificial Intelligence, Robotics [Электронный ресурс] // AForge.NET. URL: http://www.aforgenet.com/ (Дата обращения 01.01.2016).

10. Mass, G. D. Plant productivity in response to LED lightning / G. D. Mass, C. A. Mitchell // HortScience. 2008. Vol. 43, № 7. P. 1951–1956.

11. Влияние света на рост растения, светодиодные лампы, светодиодные светильники для растений : [Электронный ресурс] // Влияние света на каждом этапе роста растения и способ измерения фотосинтеза. URL: http://bit.ly/1RM2xZX (Дата обращения 18.11.2015).

12. Mutka, A. M. Image-based phenotyping of plant disease symptoms / A. M. Mutka, R. S. Bart // Frontiers in Plant Science. 2014. № 5. P. 734.

13. Флуорисценция в биологических исследованиях [Электронный ресурс] // Википедия : свобод. энцикл. URL: http://bit.ly/1mY5H1v (Дата обращения 16.12.2015).

14. Гиперспектральные изображения [Электронный ресурс] // Лазерный портал. URL: http://bit.ly/1W742Cp (Дата обращения 16.12.2015).

Сведения об авторах

Кирюшкин Максим Александрович — заведующий лабораторией робототехники Института информационных технологий Челябинского государственного университета. catch@mail.ru

Пашкевич Дмитрий Валерьевич — магистрант 1-го курса Института информационных технологий Челябинского государственного университета. dmitriytemn@gmail.com

M. A. Kiriushkin, D. V. Pashkevich

ORGANIZATION EXPERIMENTS ON RESEARCH THE EFFECT OF LIGHT OF THE SPECIFIC WAVELENGTH AND DURATION OF DAILY REGIME ON PLANTS

This article describes an experiment conducted in during the project "The Autonomous greenhouse" studying the effect of special spectrum of light and the duration of the daily regime on the growth and development of plants, using software-engineering laboratory installation. Outline the rationale for the received software and hardware solutions to perform the experiment and the opportunities opened the use IR cameras for detecting plant diseases.

ББК В187
УДК 004.8

Г. Г. Куликов, А. А. Бармин

BUSINESS INTELLIGENCE — МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-37-00064 мол_а

Обосновывается актуальность использования систем Business Intelligence в гетерогенном информационном пространстве организации для аналитической обработки имеющихся данных. Рассмотрен вопрос теоретико-множественного, категорийного структурирования контента в аспекте бизнес-процессов исследуемой предметной области, выполняемых с применением кроссплатформенных информационных технологий.

Введение

Современные организации являются сложными системами. В диалектической паре с реальной системой находится ее информационное отражение — информационная система. За время своего существования информационная система накапливает значительный объем данных, который может быть использован для планирования, прогнозирования и принятия решений. Также на основе имеющихся данных может быть построена корпоративная база знаний или система поддержки принятия решений.

Автоматизированная информационная система организации состоит из множества слабосвязанных программных комплексов. Так, например, ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение» (УМПО) в своей работе использует более 100 различных программно-аппаратных комплексов. Большинство из этих систем предоставляет возможность локального поиска или аналитики, однако для принятия решений необходимо одновременно использовать данные из нескольких систем, что может оказаться непростой задачей, в силу несовместимости систем или использования различных словарей данных.

Поддержка жизненного цикла производства изделий на УМПО (рис. 1) осуществляется множеством различных, часто не связанных друг с другом корпоративных информационных систем (КИС). Например, для автоматизации инженерных расчетов и эскизного проектирования используются CAE-системы; для автоматизации конструирования и изготовления рабочей конструкторской документации — CAD-системы; для автоматизации технологической подготовки производства — CAM-системы; для управления данными об изделии и его конфигурациями — PDM-системы; для автоматизации планирования производства и управления процессами изготовления изделий, запасами, производственными ресурсами, транспортом и т. д. — система ERP BaaN.

Многие разработчики ИС предоставляют возможности интеграции со своими системами. Также на рынке представлены и самостоятельные поисковые и аналитические системы, такие как Google Search Appliance, Яндекс.Сервер, IBM Content Analyst and Enterprise Search, Mondrian и другие. Эти системы

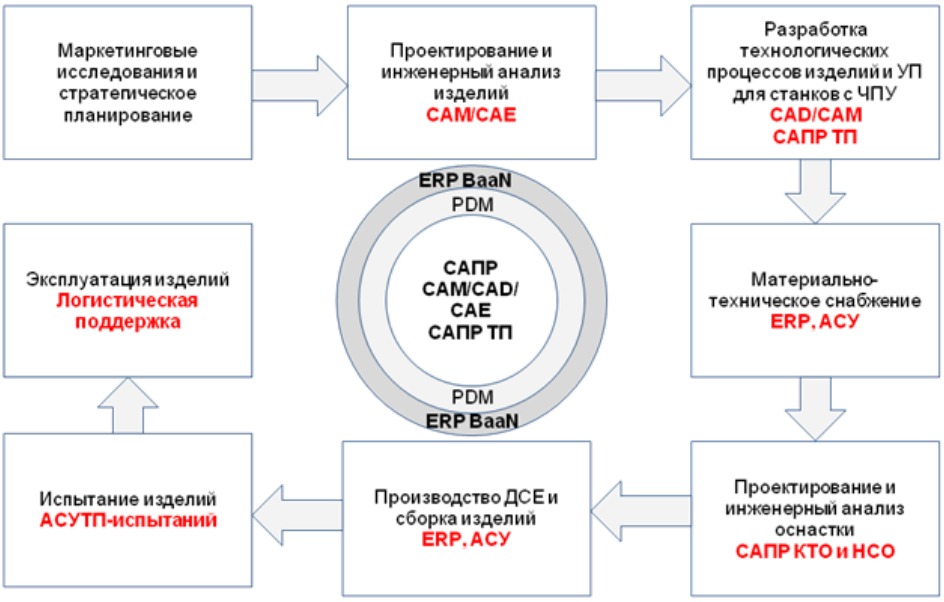


Рис. 1. Информационное сопровождение жизненного цикла изделий на УМПО на основе методологии CALS

прошли долгий путь развития от простых информационно-поисковых до систем Business Intelligence [1].

В данной работе рассматривается вопрос структурирования контента информационного процесса для аналитической обработки неструктурированных, структурированных и слабоструктурированных данных, получаемых от разнообразных ИС предприятия, с использованием систем Business Intelligence.

Целью работы является выявление общих правил структурирования контента, определение границ области структурирования и выявление необходимых прецедентов на основе моделей выполняемых бизнес-процессов.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнение следующих задач: построение теоретико-множественной и категорийной моделей контента информационного пространства, отражающей многомерный характер данных; разработка алгоритма формирования многомерного классификатора по системным моделям бизнес-процессов исследуемой предметной области.

Области применения систем Business Intelligence

Системы BI позволяют выполнять многоаспектный анализ данных предметной области, выявлять скрытые закономерности, обеспечивать лиц, принимающих решения, необходимой информацией. BI-система дополняет имеющийся комплекс программных средств, в режиме реального времени получает из них данные и приводит их к виду, позволяющему руководителю видеть полное текущее состояние дел. Система дает инструментарий для детальнейшего анализа коренных причин текущей ситуации (как позитивных, так и негативных факторов) [3].

Жизненный цикл системы с использованием Business Intelligence

В сообществе бизнес-аналитиков до сих пор не пришли к единому мнению относительно определения Business Intelligence. Одни аналитики сравнивают его с бизнес-анализом, другие с системами конкурентной разведки. Однако уже предприняты определенные шаги в направлении стандартизации.

Томас Дэвенпорт из колледжа Бэбсон (США) в своей работе “Analytics at Work” [4], определил основные этапы подготовки данных для анализа при использовании систем Business Intelligence.

Он выделил следующие этапы:

1. Извлечение данных.
2. Формирование отчетов и аналитическая обработка в реальном времени (OLAP).
3. Использование инструментов уведомления об отклонениях от ожидаемых значений показателей.
4. Выработка управленческих решений на основе бизнес-анализа.

На рис. 2 представлена схема жизненного цикла системы обработки данных в организации от момента их фиксации в информационном пространстве и подготовки отчётов для ЛПР до выработки на их основе управленческих решений.

Извлечение данных информационного пространства для интеллектуального анализа

Отличительной особенностью систем Business Intelligence является возможность одновременной работы с различными источниками данных единообразно. В связи с этим важным является вопрос структурирования контента источников с целью дальнейшей обработки.

Рис. 2. Жизненный цикл системы с использованием Business Intelligence

Структура данных конкретной информационной системы соответствует модели выполняемого бизнес-процесса. В связи с этим будем использовать модели бизнес-процессов для формирования критериев структурирования контента и извлечения данных.

Для формирования правил структурирования контента необходимо из моделей бизнес-процессов выделить бизнес-правила, описать их в атрибутивной форме и представить в форме условий. Представление в виде атрибутивной модели процесса необходимо для возможности проведения автоматизированной обработки данных на основании выполняемого бизнес-процесса. После формирования атрибутивной модели, на ее основе можно выполнять запросы к информационному пространству на языке, на котором у нас сформирована модель. Например, для задачи по отбору документов за определённый период необходимо сначала преобразовать запрос, построенный на естественном языке, в запрос, основанный на правилах взаимодействия с хранилищами данных. После чего данные уже можно получить и проанализировать.

По причине распределенности и гетерогенности информационного пространства организации, для оперативного доступа к данным необходимо сформировать классификатор информационных ресурсов. Классификатор формируется на основе лингвистического анализа глоссария системной модели бизнес-процесса — с использованием аппарата лингвистической обработки из глоссария выделяются термины, по которым будет производиться классификация контента ограниченной области информационного пространства.

Классификация может быть выполнена с использованием информационно-поисковых систем. В этом случае роль классификатора будет играть поисковый индекс.

Обращаясь с запросом к классификатору, можно единообразно извлекать указатели на информационные ресурсы из различных систем.

Представление процессов и данных в форме категорий

Знания о конкретной системе можно адекватным образом выразить, если они могут быть структурированы в виде системы понятий. Описать поведение сложных систем возможно с использованием языка теории категорий и универсальных алгебр. Опишем связь между моделью бизнес-процесса и контентом информационного пространства с использованием аппарата математической теории категорий. Для начала определим основные понятия.

Категория — это:

– класс объектов Obj_C.

– для каждой пары объектов A, B задано множество морфизмов $Hom_C(A, B)$, причем каждому морфизму соответствуют единственные A и B;

– для каждой пары морфизмов $f \in HomC\ (A, B)$ и $g \in HomC\ (B, C)$ определена композиция $f \circ g = HomC\ (A, C)$;

– для каждого объекта A задан тождественный морфизм $id_A \in HomC(A, A)$;

причем выполняются две аксиомы:

– операция композиции ассоциативна: $f \circ (g \circ h) = (f \circ g) \circ h$,

– тождественный морфизм действует тривиально: $f \circ idA = idB \circ f = f$ для $f \in HomC(A, B)$.

Установление отношений между данными возможно благодаря тому, что системная модель удовлетворяет требованиям математической теории категорий, то есть есть класс объектов, класс морфизмов, операция композиции ассоциативна, тождественный морфизм действует тривиально.

Теоретико-множественная модель контента информационного пространства

Представим информационное пространство (рис. 3) как совокупность программно-аппаратных комплексов. Каждый комплекс содержит данные в атрибутивной форме.

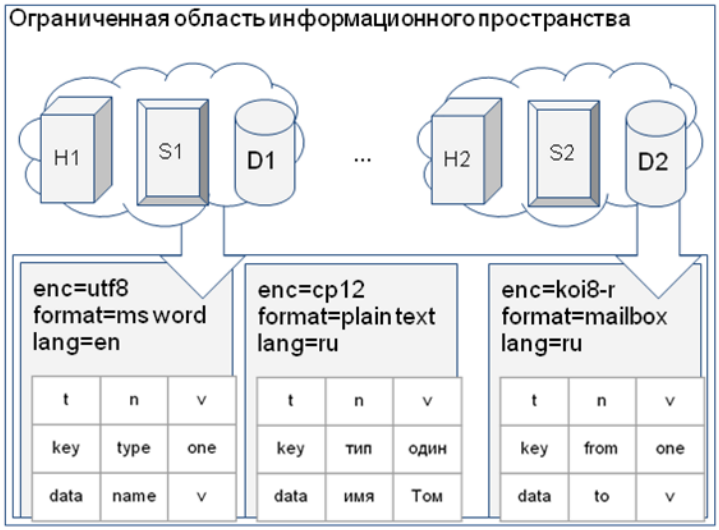


Рис. 3. Представление данных информационного пространства в атрибутивной форме

Модель информационного пространства:

$IS = \{<H_1, S_1, D_1>, <H_2, S_2, D_2>, ..., <H_i, S_i, D_i>\}$, (1)

де IS — модель ИП, H_i – i-й экземпляр аппаратного обеспечения, S_i — i-й экземпляр программного обеспечения, D_i — данные, накопленные H_i и S_i.

Данные информационного пространства ($D_i=\{d^i_j\}$):

$$d^i_j = <enc, format, lang, data>, \quad (2)$$

где d^i_j — i-й экземпляр данных, *enc* — кодировка данных, *format* — формат представления, *lang* — язык, *data* — содержимое.

$data = \{<t_1, n_1, v_1>, <t_2, n_2, v_2>, ..., <t_j, n_j, v_j>\}$, (3)

где t_j — тип j-го атрибута; n_j — наименование j-го атрибута; v_j — значение j-го атрибута.

Любые данные в информационном пространстве можно классифицировать по каким-либо признакам, например, по языку, формату, кодировке. Следовательно, данная классификация позволяет структурировать контент по необходимому для дальнейшего анализа признаку.

Алгоритм формирования многомерного классификатора

Представим алгоритм структурирования контента информационного пространства в виде схемы алгоритма (рис. 4).

Первым шагом алгоритма формирования классификатора является определение системы измерений для системной модели. Определение системы измерений для системной модели заключается в формировании многомерного классификатора на основе терминов глоссария и контента информационных ресурсов предметной области. С точки зрения информационной технологии поиска, данный процесс представляет собой индексирование глоссария модели бизнес-процесса.

Следующим шагом является определение границ информационного пространства — совокупности подсистем, потенциально содержащих данные о бизнес-процессе. Определение подсистем выполняется на основе установления соответствия между их функциями и хранимыми данными и глоссарием модели бизнес-процесса.

Третьим шагом является структурирование области информационного пространства по тождественному базису для системы измерений системной модели решаемой задачи. В результате будет сформирована разряженная таблица, содержащая в качестве строк объекты контента, а в качестве столбцов термины. На пересечении строк и столбцов находится список словопозиций.

Следующим шагом является последовательное определение нечетких прецедентов по критерию семантической близости параметрам системной модели. Далее проводится анализ полученной параметризованной системной модели в расширенном пространстве с тождественной структурой. В результате выполнения предыдущего шага отбираются объекты информационного пространства, семантически близкие к рассматриваемому бизнес-процессу. Теперь эти объекты могут быть использованы в качестве дополнительных данных для исполнения бизнес-процесса, например, в качестве входных или справочных данных. Таким образом, обеспечивается снабжение необходимыми ресурсами для выполнения бизнес-процесса.

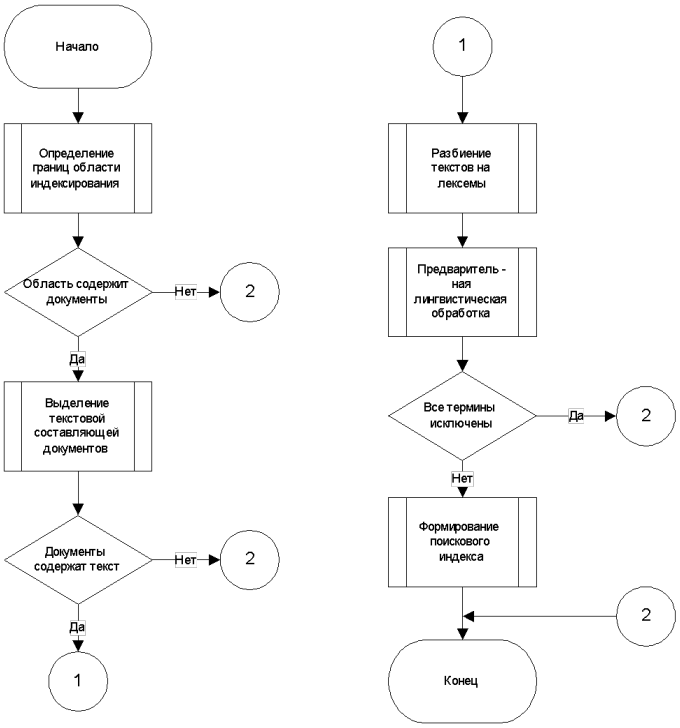


Рис. 4. Представление алгоритма структурирования контента информационного пространства в виде блок-схемы

В результате снабжения модели бизнес-процесса конкретными ресурсами, необходимыми для его выполнения, возможно автоматизированное формирование параметризированных бизнес-процессов и их последующее выполнение с использованием BPM-технологий.

Пример структурирования информационного пространства

Проиллюстрируем описанный выше алгоритм структурирования контента информационного пространства. Представим информационное пространство в виде совокупности следующих программно-аппаратных комплексов и данных, накопленных в процессе их функционирования:

$$IS = \begin{Bmatrix} IS_1 \\ IS_2 \\ IS_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \langle VM_1, \{S_1, S_2, S_3\}, \{D_1, D_2\} \rangle \\ \langle VM_2, \{S_1, S_4, S_5\}, \{D_3, D_4\} \rangle \\ \langle VM_3, \{S_1, S_6\}, \{D_5\} \rangle \end{Bmatrix}. \quad (4)$$

Также определим бизнес-процесс в виде следующей множественной модели:

$$BP = (\{F1, F2, F3\}, \{D1, D5\}, C, \{D2\}, \{VM1\}). \quad (5)$$

Определим границы предметной области, в рамках которой должен выполняться поиск:

$$ISBP = ISd \vee ISs \vee ISh = \\ = \{D1, D2, D3\} \cap \{IS1, IS2, IS3\} \cup \\ \cup \{VM1\} \cap \{IS1, IS2, IS3\}. \quad (6)$$

Таким образом, мы определили, что поиск должен выполняться в подсистемах 1 и 3.

Сформируем многомерный классификатор на основе данных, хранящихся и обрабатываемых в системах 1 и 3 следующим образом:

$$D_1 = \left\langle utf8, doc, ru, \begin{Bmatrix} k, id, 1 \\ d, name, значение1 \\ d, type, значение2 \end{Bmatrix} \right\rangle, \quad (7)$$

$$D_2 = \left\langle utf8, doc, ru, \begin{Bmatrix} k, id, 2 \\ d, name, значение3 \\ d, type, значение4 \end{Bmatrix} \right\rangle, \quad (8)$$

$$D_3 = \left\langle utf8, doc, ru, \begin{Bmatrix} k, id, 3 \\ d, name, значение5 \\ d, type, значение6 \end{Bmatrix} \right\rangle. \quad (9)$$

Выделим текстовую составляющую данных с помощью функции извлечения текста *getText()*:

$$text1 = getText\ (D_1) = \{значение\ 1, значение\ 2\}; \quad (10)$$

$$text2 = getText\ (D_2) = \{значение\ 3, значение\ 4\}; \quad (11)$$

$$text3 = getText\ (D_3) = \{значение\ 5, значение\ 6\}. \quad (12)$$

Разделим полученный текст на лексемы с помощью функции *splitText*():

$$lex1 = splitText\ (text1) = \{значение\ 1, 2\}; \quad (13)$$

$$lex2 = splitText\ (text2) = \{значение\ 3, 4\}; \quad (14)$$

$$lex3 = splitText\ (text3) = \{значение\ 5, 6\}. \quad (15)$$

Сформируем классы эквивалентности из полученных лексем:

$$L_c = getClasses(\{lex_1, lex_2, lex_3\}) = \\ = \begin{Bmatrix} \langle значение, \{знач, значен\}, \{1,2\} \rangle \\ \langle 1,1,1 \rangle, \langle 2,2,1 \rangle, \langle 3,3,2 \rangle, \\ \langle 4,4,2 \rangle, \langle 5,5,3 \rangle, \langle 6,6,3 \rangle \end{Bmatrix}. \quad (16)$$

Таким образом, мы сформировали базис, значениями измерения которого является следующее множество: {«значение», «знач», «значен», 1, 2, 3, 4, 5, 6}.

Сформируем поисковый запрос, состоящий из одного термина «значение», к сформированному ранее базису:

$$Q = (T_q, R_q) = значение$$

$$R = значение \wedge L_c = \\ = \langle значение, \{знач, значен\}, \{1,2\} \rangle. \quad (17)$$

В результате выполнения поискового запроса получили класс эквивалентности ⟨значение, {знач, значен}, {1, 2}⟩, в котором указано, что запрошенный термин «значение» в контексте бизнес-процесса BP встречается в элементах данных D_1 и D_2.

Использование систем Business Intelligence на УМПО

На сегодняшний день для обеспечения производства на УМПО применяются разнородные системы и приложения, имеющие различные интерфейсы. В связи с этим возникает большое количество ручной работы, а также не гарантируется однородность данных. Применение единой интеграционной платформы на основе систем BI позволит предприятию проводить эффективный анализ и консолидацию данных, вести мониторинг показателей эффективности, управлять рисками, использовать единый интерфейс для ввода и получения информации.

Примером подобной интеграционной бизнес-платформы, использую-щей технологии BI и на данный момент внедряющейся на УМПО, является платформа Infor ION, которая обеспечивает широкие возможности интеграции ИТ-приложений. Данная платформа представляет единый формат отчетности и аналитики, бизнес-процессов и мониторинга в рамках единой ИТ-архитектуры. Кроме того, платформа ION основана на архитектуре, использующей данные о происходящих событиях и позволяющей заблаговременно отправлять пользователям уведомления с заданиями на работы, информацией об отклонениях в бизнес-процессах и прочее.

Заключение

В современных организациях процесс управления обеспечивается широким кругом программно-ап-

паратных комплексов. Каждый из них представляет данные в собственном формате, что затрудняет консолидацию данных и получение агрегированных отчетов. Системы Business Intelligence позволяют решить проблему централизованного доступа к аналитическим данным. Однако такие системы для своей работы требуют предварительной структуризации данных, что возможно с использованием предлагаемого алгоритма структурирования контента на основе моделей бизнес-процессов. Модели бизнес-процессов изоморфно отображаются в данные, накопленные в процессе функционирования информационной системы, следовательно, модели могут использоваться и для структурирования данных в необходимом контексте.

В работе доказана возможность установления соответствия между моделями бизнес-процессов и данными предметной области за счет их представления в форме математических категорий и наличия естественных преобразований. Также предложена модель контента предметной области, которая позволяет единообразно представлять данные различных хранилищ. Для структурирования контента в соответствии с моделями бизнес-процессов предлагается формировать многомерный классификатор и выполнять отбор данных согласно предлагаемым алгоритмам.

Библиографический список

1. Артемьев, В. Что такое Business Intelligence? / В. Артемьев // Открытые системы. 2003. № 4. С. 20–26.
2. Куликов, Г. Г. Структурирование контента информационного пространства технического университета с использованием процессного подхода и семантической идентификации / Г. Г. Куликов, М. А. Шилина, Г. В. Старцев, А. А. Бармин// Вестник УГАТУ. 2014. № 4 (65). С. 115–124.
3. BI-технологии [Электронный ресурс] // Управление знаниями. URL: https://sites.google.com/site/upravlenieznaniami/tehnologii-upravlenia-znaniami/bi-tehnologii
4. Davenport, Th. H. Analy-tics at work / Th. H. Davenport. McGraw-Hill, 2009. 288 p.

Сведения об авторах

Куликов Геннадий Григорьевич — доктор технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета. gennadyg_98@yahoo.com

Бармин Александр Александрович — кандидат технических наук, ассистент кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета. abarmin@outlook.com

---

G. G. Kulikov, A. A. Barmin

METHODOLOGICAL AND INFORMATION TECHNOLOGICAL ASPECT OF BUSINESS INTELLIGENCE

This paper describes actuality of use Business Intelligence systems in heterogeneous enterprise information space for online analytics processing of available data. Also, describes Business Intelligence system in aspect of structuring and acquisition content from different enterprise structured and unstructured warehouses.

ББК У291
УДК 330

Г. Г. Куликов, А. А. Бармин, М. А. Шилина, Д. Г. Шамиданов

ОПИСАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ В СООТВЕТСТВИИ С ИЕРАРХИЕЙ ХОМСКОГО

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-37-00064 мол_а

Рассматриваются вопросы выявления общих правил структурирования контента в соответствии с иерархией Хомского. Рассмотрен процесс аналитической обработки большого объёма неструктурированных данных, получаемых от разнообразных ИС предприятия, на примере использования систем Business Intelligence.

Введение

Данные, накапливаемые в процессе функционирования автоматизированной информационной системы, могут стать ценной информацией только тогда, когда они легкодоступны и интерпретируемы в форме знаний. Использование интеллектуальных информационно-поисковых систем и средств контентной аналитики позволяет обеспечить оперативный доступ к информационным ресурсам, распределенным по различным узлам вычислительной сети и представленным в различных форматах. Многие системы управления корпоративным контентом имеют встроенные механизмы информационного поиска, но обеспечивают идентификацию ресурсов и прослеживаемость их связей только в рамках одной системы. В связи с этим актуальным является выявление общих правил аналитической обработки данных и структурирования контента, определения границ области структурирования и выявления необходимых прецедентов на основе моделей выполняемых бизнес-процессов.

Для определения целей аналитической обработки данных одновременно из нескольких систем можно использовать предметно-ориентированный естественный язык с определённой степенью формализации синтаксиса с точностью до словаря и естественных правил построения предложений (носителей соответствующих силлогизмов) и семантики, определяемой моделями бизнес-процессов. Эта система должна быть внешней по отношению к другим системам и содержать поисковую подсистему и подсистему бизнес-аналитики с соответствующими предметно-ориентированными формальными языками. Примером реализации подобных систем могут служить BI-технологии, которые позволяют анализировать большие объёмы информации, моделируя исход различных вариантов действий и отслеживая результаты принятия тех или иных решений.

В данной работе рассматривается вопрос аналитической обработки большого объёма неструктурированных данных, получаемых от разнообразных ИС предприятия, на примере использования систем Business Intelligence.

Цель работы — выявление общих правил структурирования контента в соответствии с иерархией Хомского.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнение следующих задач: представление модели бизнес-процессов в соответствии с уровнями иерархии Хомского; построение теоретико-множественной модели контента информационного пространства, соответствующей иерархиям Хомского.

Описание бизнес-процессов в соответствии с иерархией Хомского

Иерархия Хомского — классификация формальных языков и формальных грамматик, согласно которой они делятся на 4 типа по их условной сложности. Предложена профессором Массачусетского технологического института, лингвистом Ноамом Хомским [1].

Формальную грамматику G по Хомскому можно представить в виде упорядоченной «четвёрки»:

$$G = \langle V_T, V_N, P, S \rangle, \quad (1)$$

где V_T — алфавит (множество) терминальных символов — терминалов;

V_N — алфавит (множество) нетерминальных символов — нетерминалов;

$V = V_T \cup V_N$ — словарь G, причём $V_T \cap V_N = \varnothing$, P — конечное множество продукций (правил) грамматики;

$P \subseteq V^+ \times V^*$, S — начальный символ (источник).

Здесь V^* — множество всех строк над алфавитом V, а V^+ — множество непустых строк над алфавитом V.

Согласно Хомскому, формальные грамматики делятся на четыре типа:

1. Тип 0 — неограниченные. К типу 0 по классификации Хомского относятся неограниченные грамматики — грамматики с фразовой структурой, то есть все без исключения формальные грамматики. Практического применения в силу своей сложности такие грамматики не имеют.

2. Тип 1 — контекстно-зависимые. К этому типу относятся контекстно-зависимые (КЗ) грамматики и неукорачивающие грамматики. Эти классы грамматик могут использоваться при анализе текстов на естественных языках, однако при построении компи-

ляторов практически не используются в силу своей сложности.

3. Тип 2 — контекстно-свободные. К этому типу относятся контекстно-свободные (КС) грамматики. КС-грамматики широко применяются для описания синтаксиса компьютерных языков.

4. Тип 3 — регулярные. К третьему типу относятся регулярные грамматики (автоматные) — самые простые из формальных грамматик. Они являются контекстно-свободными, но с ограниченными возможностями. Регулярные грамматики применяются для описания простейших конструкций: идентификаторов, строк, констант, а также языков ассемблера, командных процессоров и др.

Рассмотрим описание бизнес-процесса на примере диаграммы в нотации структурного моделирования IDEF0. IDEF0 представляет собой методологию функционального моделирования и графическую нотацию, предназначенную для формализации и описания бизнес-процессов. Таким образом, графическая нотация определяет алфавит, а правила построения модели в данной нотации — грамматику. С точки зрения грамматики Хомского, синтаксис IDEF можно отнести к контекстно-свободным грамматикам. Диаграмма в нотации IDEF0 представляет собой две структуры: первая — ориентированный граф, представляющий формальную структуру модели и глоссарий, определяющий ее семантическое описание:

$$\mathrm{IDEF} = (Gr, GL), \qquad (2)$$

где Gr — ориентированный граф, Gl — глоссарий модели бизнес-процесса.

$$Gr = (V, A), \qquad (3)$$

где V — непустое множество вершин — входов и выходов бизнес-процессов, A — множество различных ребер — функций преобразования входных ресурсов в выходные.

Исследуем свойство отношения «вход—выход» между элементами диаграммы. В этом случае вершинами графа выступают ресурсы (входы и выходы функциональных блоков), а стрелками — функции преобразования входов в выходы.

Положим, что вершины графа являются объектами категории, а стрелки — морфизмами. Так как функциональное моделирование строится на принципе декомпозиции, представление обладает следующими свойствами:

1. Ассоциативность:

$(A11 \cdot A12) \cdot A13 \equiv A11 \cdot (A12 \cdot A13)$, то есть возможна вариативность при декомпозиции, но результат не зависит от того, какие именно функциональные блоки будут декомпозированы.

2. Некоммутативность:

$A1 \not\equiv A12 \circ A11$, то есть результат выполнения процесса зависит от последовательности дочерних процессов.

3. Ресурсы могут быть как входами, так и выходами функциональных блоков.

Вершина графа модели в нотации IDEF0 имеет уникальный иерархический идентификатор, следовательно, элементы этой диаграммы являются идентифицируемыми, а связи прослеживаемыми. Задача поиска сводится к выбору нужного элемента диаграммы по известному пути.

Представим процесс извлечения данных информационного пространства для интеллектуального анализа в соответствии с уровнями иерархии Хомского (рис. 1).

Для формирования критериев структурирования контента и извлечения данных из моделей бизнес-

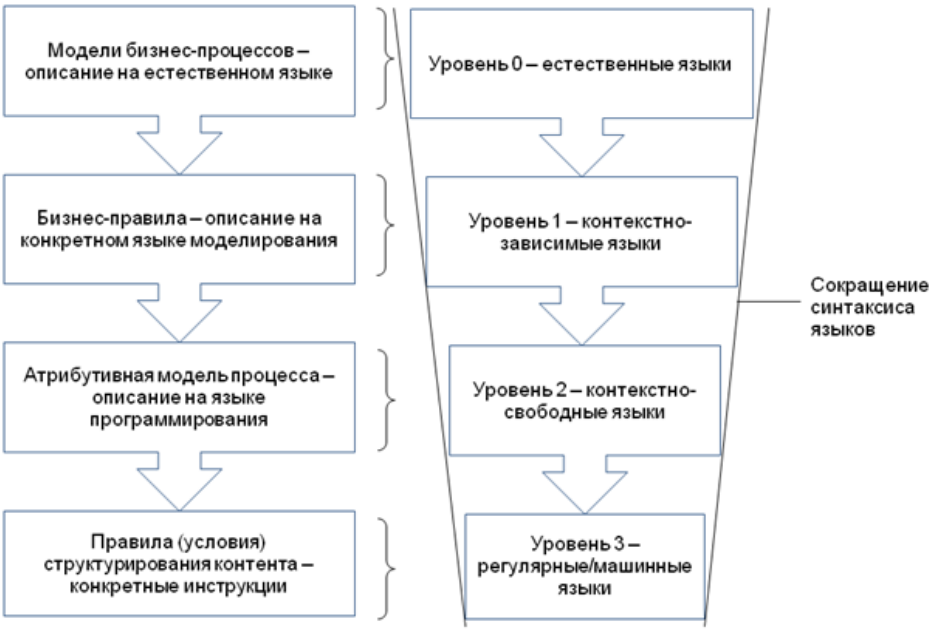


Рис. 1. Сопоставление процесса составления правил структурирования контента с уровнями иерархии Хомского

процессов необходимо выделить бизнес-правила, описать их в атрибутивной форме и представить в форме условий.

Описание бизнес-процесса на естественном языке, представляющее модель процесса, соотносится с нулевым уровнем иерархии Хомского.

$$G = <V_T, V_N, P, S>, \quad (4)$$

где V_T — конечный алфавит терминальных символов (описание бизнес-процесса на естественном языке);

V_N — конечный алфавит нетерминальных символов (предложения);

P — конечное множество правил порождения (правила построения предложений);

S — начальный символ (источник).

К первому уровню — контекстно-независимым языкам — можно отнести бизнес-правила, то есть описание бизнес-процесса на языке конкретной предметной области, например, в форме чертежей или последовательности конструкторско-технологических операций:

$$G_1 = <V_{T1}, V_{N1}, P_1, S_1>, \quad (5)$$

где V_{T1} — термины инструкций, например, конструкторско-технологические операции, чертежи конкретной предметной области;

V_{N1} — конечный алфавит нетерминальных символов конкретного бизнес-процесса;

P_1 — конечное множество правил порождения;

S_1 — начальный символ (источник).

Переход от нулевого уровня к первому выполняется за счет описания процесса в терминах конкретной предметной области, с применением конкретного жаргона. Это позволяет сократить алфавит, упростить синтаксис, но уточнить семантику языка.

С уровнем контекстно-свободных языков соотносится атрибутивная модель процесса, определяющая описание моделируемого процесса в виде моделей бизнес-процессов.

$$G_2 = <V_{T2}, V_{N2}, P_2, S_2>, \quad (6)$$

где V_{T2} — элементы языка моделирования;

V_{N2} — конечный алфавит нетерминальных символов языка моделирования;

P_2 — конечное множество правил построения моделей;

S_2 — начальный символ (источник).

Переход от контекстно-зависимых к контекстно-свободным языкам выполняется за счет моделирования бизнес-процесса с применением инструментов структурного или объектно-ориентированного подхода. Бизнес-процесс, представленный в форме структурной или объектной модели, использует алфавит и синтаксис конкретного языка моделирования, что описывать процесс независимо от предметной области.

Правила по структурированию контента можно соотнести с третьим уровнем иерархии — уровнем инструкций. По мере перехода на более низкий уровень иерархии происходит сокращение (конкретизация) синтаксиса языка — описание процесса становится более конкретным, смысл правил сужается до конкретных инструкций.

Для третьего уровня иерархии, которому соответствуют инструкции регулярных языков или языков программирования, определим:

$$G_3 = <V_{T3}, V_{N3}, P_3, S_3>, \quad (7)$$

где V_{T3} — элементы языка программирования;

V_{N3} — конечный алфавит нетерминальных символов языка программирования;

P_3 — конечное множество правил взаимодействия;

S_3 — начальный символ (источник).

Переход от контекстно-свободных языков к регулярным выполняется при программировании и реализации бизнес-процесса с использованием автоматизированных систем и высокоуровневых языков программирования.

Каждое из множеств языков является подмножеством предыдущего множества ($G_3 \in G_2 \in G_1$), что обеспечивает передачу семантики между уровнями иерархии. Однако за счет сокращения синтаксиса может быть потеряна некоторая информация и внесены неточности при реализации.

Пример структурирования данных в аспекте исследуемых предметных областей с применением конкретных программных приложений

Рассмотрим пример структурирования данных на базе системы IBM Cognos BI. IBM Cognos Business Intelligence – это комплексное решение для построения информационно-аналитической системы масштаба организации.

Для выполнения анализа данных с использованием IBM Cognos BI необходимо сформировать потребность на естественном языке. Потребность может быть сформирована руководителем или аналитиком. Для того чтобы информационная потребность могла быть реализована с использованием IBM Cognos BI, необходимо ее сформировать на контекстно-свободном языке — оформить в виде совокупности метаданных и источников данных для анализа.

Метаданные в BI-системах — это механизм, с помощью которого пользователь показывает BI-системе, каким образом организована система хранения данных и как с этими данными работать. Метаданные — это не всегда просто информация об источнике данных, в ряде случаев, метаданными выступают внутренние механизмы хранения BI-системы (например, OLAP-кубы). К примеру, метаданными в Cognos BI является формализованное описание структуры системы хранения данных.

Для представления информационной потребности на контекстно-свободном языке в терминах IBM Cognos BI необходимо пройти несколько основных этапов:

1) создать подключение к источнику данных;

2) сформировать описание источника данных, то есть создать метаданные;

3) создать и опубликовать пакет метаданных на IBM Cognos BI сервере;

4) создать отчет [4].

Данные предметной области описывают один из аспектов бухгалтерского учета. Модель данных представлена на рис. 2.

Как видно на схеме, в тестовой базе данных содержится 3 иерархических измерения: «Группа товара → Товар», «Континент → Страна → Город → Торговая точка», «Год → Полугодие → Квартал → Месяц → Дата»; 2 плоских (одномерных) измерения: «Кассир», «Региональный руководитель»; и 2 таблицы фактов: «Продажи», «План продаж».

Причем измерение «Кассир» расположено в одной из таблиц фактов в денормализованном виде, а измерение «Региональный руководитель» привязано к уровню «Страна» измерения «Торговая точка» связью «многие ко многим» (подразумевается, что один руководитель может управлять разными странами).

Описание источников данных происходит с использованием инструмента Data Source Connections, описание метаданных выполняется с использованием встроенного графоаналитического языка моделирования, сходного с IDEF1X.

Для создания метаданных в IBM Cognos BI используется отдельное приложение IBM Cognos Framework Manager (единственное не веб-приложение в комплексе IBM Cognos BI).

Следующим этапом является описание формы представления результатов в виде отчета. Используя термины предметной области, разработчик отчета формирует измерения.

После того как метаданные созданы, необходимо сформировать метапакет и опубликовать его на IBM Cognos BI сервере.

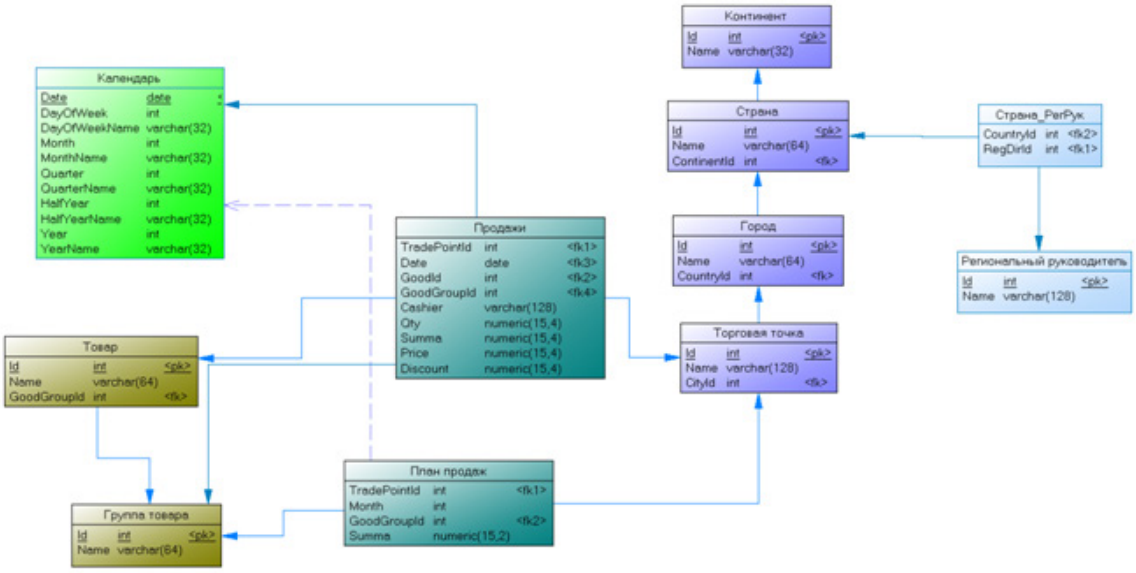


Рис. 2. Business Intelligence с IBM Cognos BI. Модель демонстрационных данных

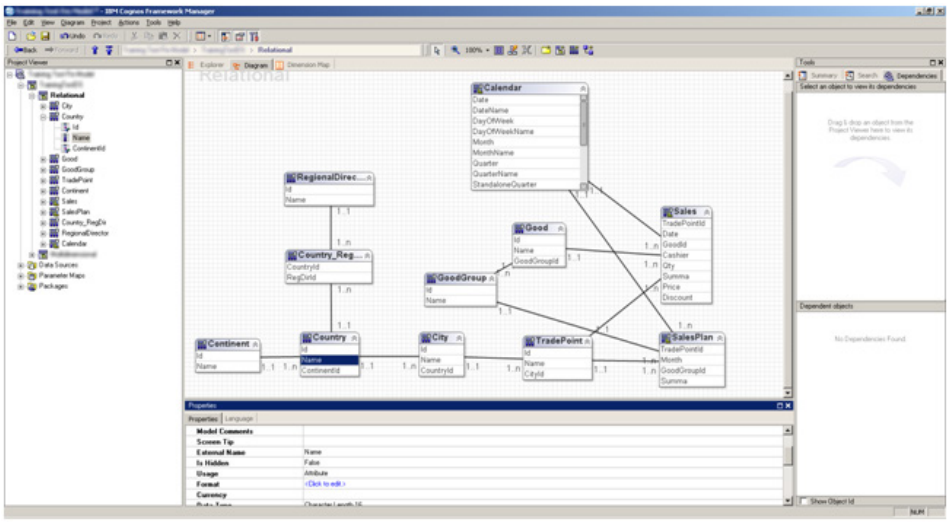


Рис. 3. Business Intelligence с IBM Cognos BI.
Разработка метаданных с помощью IBM Cognos Framework Manager

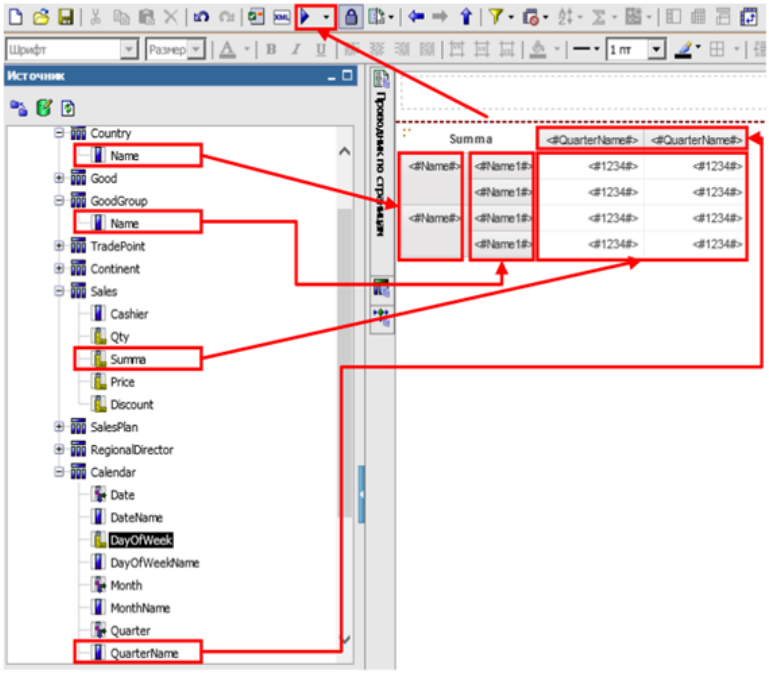


Рис. 4. Business Intelligence с IBM Cognos BI. Разработка отчета с помощью IBM Cognos Report Studio

Сервер IBM Cognos BI в данном случае выполняет преобразование информационной потребности, сформулированной на естественном языке аналитиком, переведенной на контекстно-свободный язык метаданных разработчиком отчетов, в конкретный регулярный язык хранилища данных. С помощью этого языка формируются запросы на извлечение данных и отчеты для их представления.

После запуска отчета на выполнение получится результат (рис. 5).

В результате использования системы IBM Cognos BI для удовлетворения информационной потребности, сформулированной на естественном языке, система представляет отчет, сформулированный с использованием контекстно-зависимого языка. Интерпретация отчета затем может быть выполнена аналитиком для предоставления результатов также в форме естественного языка.

Заключение

В процессе функционирования множества автоматизированных информационных систем на предприятии накапливается большое количество данных, которые могут стать ценной информацией только тогда, когда они интерпретированы в форме знаний, в виде отчётов или в иной форме. Системы BI позволяют составлять подобные отчёты для лиц, принимающих решения, путем преобразования информационной потребности, сформулированной на естественном

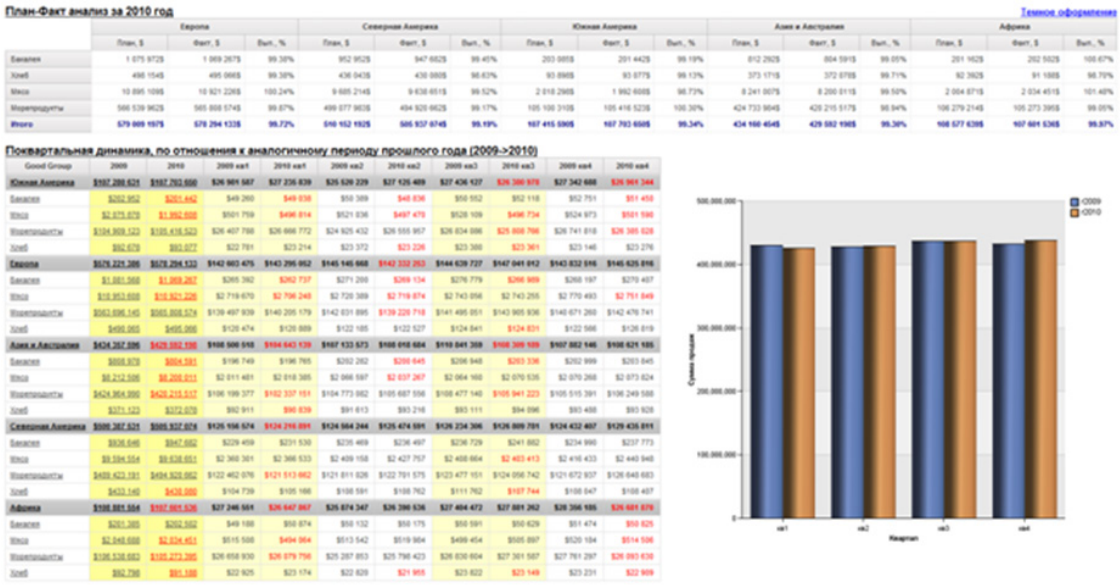


Рис. 5. Business Intelligence с IBM Cognos BI. Результаты анализа

языке, в отчет, сформированный с применением контекстно-зависимого языка предметной области. Переход между уровнями иерархии в данном конкретном случае выполняется за счет описания предметной области в форме метаданных и совокупности хранилищ данных.

В работе проиллюстрирован данный подход с использованием систем IBM Cognos BI. В результате описания информационной потребности с использованием встроенного графоаналитического языка аналитик может получить ответ в форме параметризованного отчета.

Коллектив авторов считает, что возможна дальнейшая формализация данного процесса и его описание в форме категорийных и теоретико-множественных моделей.

Библиографический список

1. Хопкрофт, Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений [= Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation] / Д. Хопкрофт, Р. Мотвани, Д. Ульман. М. : Вильямс, 2002. 528 с.
2. Хомский, Н. Аспекты теории синтаксиса / Н. Хомский ; пер. с англ. под ред. и с предисл. В. А. Звегинцева. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1972. 129 с.
3. Куликов, Г. Г. Структурирование контента информационного пространства технического университета с использованием процессного подхода и семантической идентификации / Г. Г. Куликов, М. А. Шилина, Г. В. Старцев, А. А. Бармин // Вестник УГАТУ. 2014. № 4 (65). С. 115–124.
4. Kovalenko, K. Современные Business Intelligence (BI) системы на примере IBM Cognos BI [Электронный ресурс]. URL: http://habrahabr.ru/post/248829/

Сведения об авторах

Куликов Геннадий Григорьевич — доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета. gennadyg_98@yahoo.com

Бармин Александр Александрович — кандидат технических наук, ассистент кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета. abarmin@outlook.com

Шилина Мария Анатольевна — кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета. maria.shilina@gmail.com

Шамиданов Дмитрий Геннадиевич — аспирант кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета. shamidanow@gmail.com

---

G. G. Kulikov, A. A. Barmin, M. A. Shilina, D. G. Shamidanov

DESCRIPTION OF BUSINESS PROCESSES IN ACCORDANCE WITH CHOMSKY HIERARCHY

The paper deals with the identification of the general rules of structuring content in accordance with the Chomsky hierarchy. The process of analytical processing of large amounts of unstructured data from different enterprise systems is described with Business Intelligence systems.

ББК Х408.122.18с5
УДК 347.476

З. В. Максименко, К. А. Федорова, Е. В. Медведева

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ ВЗЫСКАНИЕМ ЗАДОЛЖЕННОСТИ

Рассматривается подход к формированию комплексной стратегии взыскания задолженности контрагентов на основе интеллектуальных технологий коллекторского скоринга в системе риск-менеджмента организации. Разработан инструментарий, который в рамках предложенной стратегии решает задачи классификации должников и определения вероятной суммы взыскания с них. Результаты, внесенные в модель формирования оптимальной программы взыскания, позволяют выбрать наилучший метод воздействия на каждого должника и повысить качество управленческих решений, принимаемых относительно отдельных должников и портфелей долгов в целом.

Введение

Совершенствование обеспечения долговой безопасности кредитных и иных организаций возможно за счет применения интеллектуальных информационных технологий коллекторского скоринга, то есть комплексной стратегии, объединяющей юридические, математические, информационные и прочие методики, инновационного управления взысканием задолженности.

Кризис заставляет пересматривать способы решения проблем и особенно те из них, которые связаны с большими экономическими затратами. Чтобы не допустить большого роста просроченных долгов, необходимо решить сложную задачу — выработать и последовательно выполнять такую стратегию работы с должниками, которая позволит, с одной стороны, сохранить лояльность перспективных клиентов, а с другой — максимизировать объем собранной задолженности, при жестком ограничении затрат на мероприятия по сбору.

В связи с вышеизложенным статья посвящена поиску решения проблемы оптимизации работ по взысканию с помощью разработки комплексной стратегии управления просроченной задолженностью.

1. Аналитический обзор проблемы управления взысканием задолженности

Методология коллекторского скоринга базируется на оптимальной сегментации кредитных дел, которая, в свою очередь, позволяет использовать прикладные инструменты коллекторского скоринга наиболее эффективно [9].

Сегментация осуществляется в зависимости от различных факторов:

– параметров кредитного дела — дней просрочки, суммы кредита, кредитного продукта, характеристики заемщика и т. д.;

– locator score: числовой характеристики вероятности контакта с должником. Вероятность контакта позволяет оценить причину возникновения задолженности — нежелание или невозможность выплат;

– collectability score: числовой характеристики вероятности возврата задолженности. Низкое значение данной вероятности говорит о необходимости более плотной работы с должником и, соответственно, необходимости привлечения большего количества ресурсов;

– дополнительных расчетных параметров;

– результатов предыдущего воздействия.

Результатом сегментации становится определение методов воздействий, которые необходимо применить к определенному должнику [5; 8].

Методы корректирующих воздействий включают:

– профилактический контакт с должником;

– работу с текущей задолженностью (soft-collection);

– внесудебное взыскание (hard-collection);

– взыскание в судебном порядке (legal-collection);

– реструктуризацию задолженности;

– требование увеличения стоимости залогового обеспечения по кредиту;

– цессию;

– списание безнадежной задолженности.

Анализ коллекторской деятельности [5; 6; 8; 9] позволил выделить круг основных задач коллекторского скоринга и методов их решения (рис. 1).

Предложенный в статье подход предусматривает последовательное решение приведенных задач. Задачи оценки должников и вероятной суммы взыскания с них рассматривались в [1; 4].

Рассмотрим подробнее способы управления программой взыскания (рис. 1) [2; 6; 7]:

1. Мониторинг результатов переговоров.

В этом случае сотрудники-аналитики или коллекторы просматривают (100 % или выборочно) результаты переговоров с каждым заемщиком и принимают решение о целесообразности продолжения взыскания и выборе дальнейшей стратегии взыскания.

Недостатками данного способа управления являются высокая ресурсоемкость (ручная работа) и высокая зависимость результатов деятельности коллекторского подразделения от частного мнения аналитиков, что особенно опасно в условиях недостатка квалифицированных кадров и острой конкурентной борьбы.

Рис. 1. Методы решения задач коллекторского скоринга

2. На основе параметрических бизнес-правил.

При автоматизации принятия решений на основе параметрических бизнес-правил часть управленческих решений берет на себя программное обеспечение.

3. На основе моделирования бизнес-процессов.

Заключается в разработке набора типовых бизнес-процессов — планов мероприятий по взысканию. Такие планы имеют разветвленную структуру и обеспечивают вариативность воздействия на должников в зависимости от предыдущих результатов. Библиотека планов мероприятий позволяет автоматически выбирать стратегию взыскания исходя из параметров кредитного договора, кредитного продукта, параметров задолженности, степени загруженности коллекторского подразделения или иных факторов.

4. Метод исключения малоперспективных задолженностей из процесса взыскания. Этот метод базируется на двух постулатах:

– чем старше задолженность, тем ниже вероятность взыскания;

– малые суммы задолженности невыгодно взыскивать.

Недостатками данного метода являются его низкая эффективность и низкая точность. Так, обычно на основе пороговых значений срока просрочки и суммы задолженности отсекают не более 5% кредитных дел, что не оказывает заметного влияния на степень загруженности коллекторов. С другой стороны, используемые критерии отсечки плохо прогнозируют вероятность погашения задолженности, и среди отсеченных 5% должников вполне могли бы быть погашения. Кроме того, данный метод не учитывает индивидуальной себестоимости взыскания.

5. Метод управления стратегией взыскания, основанный на соотнесении вероятной суммы взыскания с себестоимостью взыскания. Предполагает выполнение следующих этапов:

– определение вероятности взыскания с каждого должника;

– определение вероятной суммы погашения от каждого должника;

– определение ценности каждого клиента в портфеле;

– определение стоимости взыскания для каждого должника;

– планирование предельного количества контактов с каждым должником.

6. Методы оптимизации (математическое программирование).

Рассматривается деятельность по взысканию за период T. Строится задача оптимизации на следующий период T на основе результатов, достигнутых за весь предыдущий срок взыскания портфеля просроченной задолженности. Целевой функцией задачи оптимизации является сумма прогнозируемого взыскания для каждого заемщика при условии применения того или иного плана мероприятий за вычетом уже понесенных и прогнозируемых затрат на взыскание. Обязательным ограничением является условие, что в период T к каждому должнику может быть применен только один план мероприятий. Задача в такой постановке представляет классическую задачу линейного программирования.

Одним из преимуществ данного метода является универсальный механизм планирования. В качестве плана мероприятий может выступать и судебное/исполнительное производство по кредитному делу. В данную модель линейного программирования легко ввести такие необычные бизнес-ограничения, как, например, требование руководства банка при прочих равных условиях охватить не менее k (например, 90 %) должников любыми мероприятиями по взысканию.

Решение задачи целочисленного линейного программирования может производиться с помощью многих пакетов прикладных программ и не вызывает сложностей.

2. Разработка инструментария для формирования комплексной стратегии управления задолженностью

В данной работе предлагается применять метод управления стратегией взыскания, основанный на соотнесении вероятной суммы взыскания с себестоимостью мероприятий по взысканию и методологию математического программирования. Требуется разработать инструментарий (систему) для формирования комплексной стратегии взыскания просроченной задолженности.

На вход системы подаются данные о заемщиках и кредитных делах, параметры просрочки. Данные, как правило, представляют выгруженные из базы данных файлы в виде таблицы для обработки в MS Excel. Для обработки данных, чтобы сделать их пригодными для дальнейшей оценки, должна быть предусмотрена специальная процедура. На основе этих данных будет проводиться оценка вероятности и суммы взыскания. Результаты оценки должны быть доступны для просмотра пользователям. Полученная статистика должна быть изучена и проанализирована пользователем, чтобы отследить степень влияния тех или иных параметров на результаты оценки. Для ввода данных о методах воздействия на должников должна быть предусмотрена специальная форма. Располагая данной информацией, программная система должна рассчитать оптимальную стратегию взыскания по портфелю долгов, максимизирующую прибыль от взысканий (рис. 2).

На рис. 3 представлена контекстная диаграмма процесса формирования стратегии взыскания просроченной задолженности. На приведенной диаграмме верхнего уровня определяется связь функционирования системы с исходными данными, исполнителями, управляющими командами и результатами выполнения.

В качестве исходных данных для системы выступает всевозможная информация о заемщиках и их кредитных делах.

Механизмами являются все программно-технические средства, задействованные в процессе функционирования системы, а также пользователи системы, которые контролируют ее работу и воздействуют на нее.

В качестве управляющих воздействий выступают нормативная и законодательная база, методология скорингового моделирования, методология регрессионного анализа и методы математического программирования.

При разработке были выделены 5 основных блока процесса формирования стратегии взыскания просроченной задолженности:

1. Предварительная подготовка данных.
2. Классификация заемщиков.
3. Оценка вероятной суммы взыскания.

Рис. 2. Входные и выходные данные, требования к системе

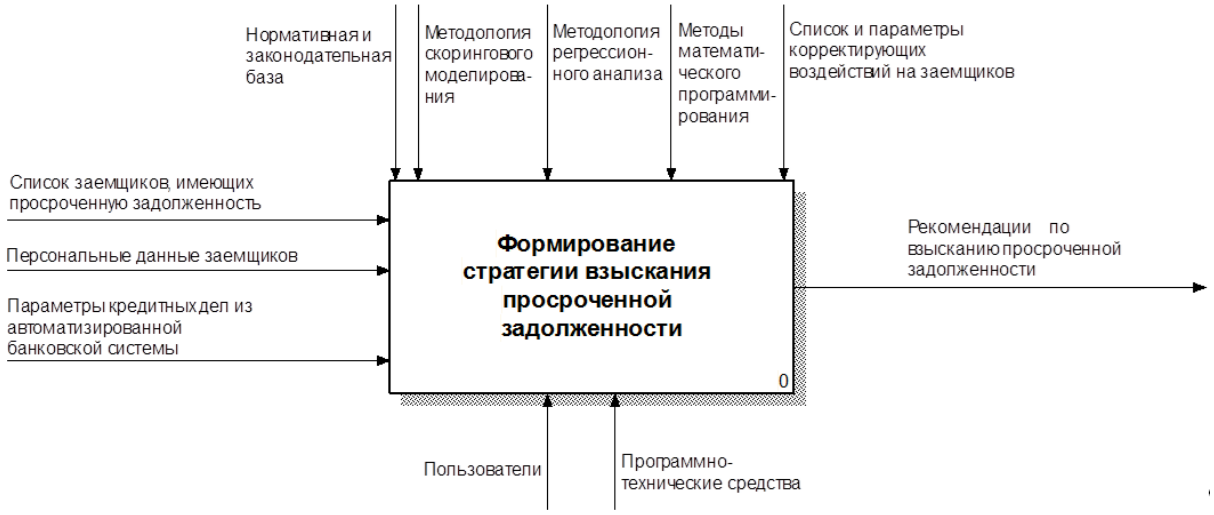


Рис. 3. Контекстная диаграмма процесса формирования стратегии взыскания просроченной задолженности

4. Формирование оптимальной программы взыскания.

5. Представление и интерпретация результатов. На основе проведенного анализа формируются рекомендации по применению корректирующих воздействий к должникам, а также по оценке должников.

Структура функционирования системы раскрывается на диаграмме декомпозиции (рис. 4).

3. Математический инструментарий формирования комплексной стратегии управления взысканием задолженности

Информационную базу для проведения исследования составили данные о заемщиках, обслуживающихся на территории Российской Федерации, имеющих просроченную задолженность и находящихся в работе коллекторского подразделения [3].

По заданному набору данных разработаны:

– модель оценки вероятности получения платежа с каждого должника. Гипотеза о значимости коэффициентов модели проверялась с помощью теста отношения правдоподобия (LR). Тест Хосмера — Лемешоу показал, что построенная модель адекватна реальному процессу и может быть использована в аналитических целях. Качество классификации по модели подтверждено результатами ROC-анализа. Выявлены показатели, оказывающие наибольшее

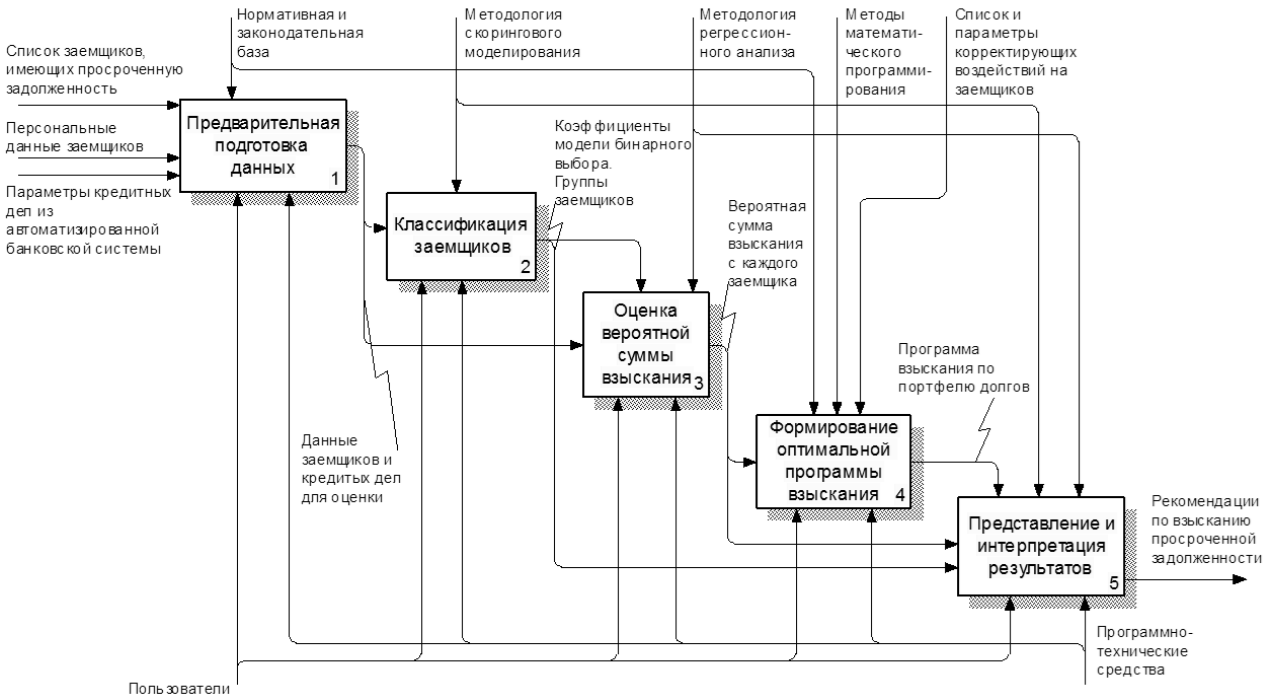


Рис. 4. Структура решения задачи формирования стратегии взыскания просроченной задолженности

влияние на вероятность возврата долга (количество поручителей, срок кредита, регион проживания, пол должника и др.). В результате классификации выделена категория клиентов, которые не будут возвращать долг [1];

– модель Тобит II типа (модель Хекмана), отражающая зависимость суммы взыскания от различных факторов с включением дополнительного регрессора — «лямбды Хекмана», рассчитанного по коэффициентам модели бинарного выбора, и позволяющая оценить сумму планируемого взыскания с каждого должника. Анализ остатков показал эффективность предложенного подхода — несмещенность и состоятельность оцененных параметров полученной модели. Средняя ошибка оценки по модели 12,2 % [4]. Предложенное решение позволяет в отличие от существующих моделей оценки вероятной суммы взыскания получить состоятельные и несмещенные оценки параметров модели.

Рассчитанная по предложенной модели ожидаемая сумма взыскания за вычетом затрат на взыскание, включающих плановую стоимость мероприятий по взысканию (например, себестоимость работы контакт-центра с одним должником); величину затрат, зависящих от суммы кредита или суммы задолженности (сумма государственной пошлины, сумма дисконта при продаже задолженности и т. п.); прямые потери от применения определенного вида воздействия (например, снижение прибыли при реструктуризации задолженности или списании штрафных санкций) и пр., выступает критерием выбора вариантов в оптимальную программу взыскания.

Допущения модели:

1. Программа взыскания определяется на начало планового периода.

2. Имеющиеся ресурсы нельзя привлечь в неограниченном размере.

3. К каждому заемщику в течение планового периода может быть применен только один метод воздействия.

4. К заемщику может быть не применено ни одного метода воздействия в плановом периоде.

Введем следующие обозначения:

1) $A=\{a_1,...,a_j,...,a_n\}$ — количество методов воздействия;

2) $Z=\{z_1,..,z_i,...,z_m\}$ — множество заемщиков;

3) $T=\{t_1,...,t_k,...,t_r\}$ — множество ресурсов, необходимых для реализации программы взыскания;

4) $\mathrm{Res}_{ij}^{k}, \forall t\in T$ — оценка затрат ресурса k, необходимого для применения j-го метода воздействия к i-му заемщику. В качестве ресурса могут выступать, например, трудозатраты на применение каждого воздействия, измеряемые в человеко-часах;

5) Res_{b}^{k}, $t\in T$ — бюджет k-го ресурса на плановый период;

6) P_{ij} — значение ожидаемой суммы взыскания с i-го заемщика при условии применения j-го метода воздействия;

7) C_{ij} — значение ожидаемых затрат в случае применения j-го метода воздействия к i-му заемщику;

8) $x_{ij}\in\{0,1\}$, $i=\overline{1,m}$, $j=\overline{1,n}$ — булева переменная, значение которой определяет, будет ли j-й метод воздействия применен к i-му заемщику:

$x_{ij}=1$, если j-й метод воздействия будет применяться к i-му заемщику;

$x_{ij}=0$, в противном случае.

Тогда формированию оптимальной программы взыскания на период будет отвечать такой набор величин x_{ij}, который будет решением следующей задачи математического программирования:

Требуется максимизировать сумму взыскания, за вычетом затрат:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}(P_{ij}-C_{ij})x_{ij}\to\max \qquad (1)$$

при ограничениях:

1) по использованию ресурсов:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\mathrm{Res}^{k}_{ij}x_{ij}\le\mathrm{Res}_{b}^{k},\forall t\in T; \qquad (2)$$

2) по количеству воздействий, применяемых к заемщику:

$$\sum_{j=1}^{n}x_{ij}\le 1,\ \forall i,\ i=\overline{1,m}; \qquad (3)$$

3) $x_{ij}\in\{0,1\}$, $j=\overline{1,n}$, $i=\overline{1,m}$. (4)

Таким образом, задача формирования оптимальной программы взыскания сводится к задаче целочисленного программирования с булевыми переменными и решается известными методами.

Разработанная модель формирования оптимальной стратегии взыскания просроченной задолженности позволяет проводить анализ и оценку вариантов взыскания на основе такого критерия отбора методов взыскания, как ожидаемая сумма взыскания за вычетом затрат при заданных ограничениях по ресурсам.

Применение предложенной модели позволит повысить скорость и качество коллекторских решений, принимаемых относительно портфелей долгов в целом в процессе управления стратегией взыскания просроченной задолженности.

Заключение

Финансовый кризис вкупе с постоянным ростом объемов кредитования и, как следствие, ростом объемов просрочек по выданным ссудам привел к необходимости разработки аналитических продуктов, позволяющих организовать эффективное управление проблемной задолженностью. Предложенный

в работе подход с высокой вероятностью позволяет определить перспективы и объем взыскания, а также выбрать наиболее подходящую стратегию работы с каждым должником.

Результаты исследований, представленные в статье, частично поддержаны грантом 16-07-00773-а «Локальные бизнес-приложения на основе интеллектуальных информационных технологий с использованием ресурсов IT-инфраструктуры для поддержки управленческих решений в производственных системах с учетом рисковых ситуаций (на примере нефтехимической отрасли)».

Библиографический список

1. Григорчук, Т.И. Скоринговое моделирование финансовых потоков от взыскания / Т.И. Григорчук, З.В. Максименко, Л.Ф. Розанова, Г.Р. Бикбулатова // Нефтегазовое дело. 2015. № 5. С. 630–655.

2. Максименко, З.В. Оптимизация работ по взысканию проблемной задолженности для управления деятельностью коллекторского подразделения/ агентства / З.В. Максименко, И.А. Лакман, Т.И. Григорчук, Э.Р. Резванова // Евразийс. юрид. журн. 2015. № 4 (83). С. 139–142.

3. Максименко, З.В. Информационная поддержка формирования стратегии взыскания просроченной задолженности на основе коллекторского скоринга / З.В. Максименко, И.А. Лакман, Л.Ф. Розанова // Информационные технологии и системы : тр. Четвертой Междунар. науч. конф. ; отв. ред. Ю.С. Попков, А.В. Мельников. Челябинск, 2015. С. 139–140.

4. Максименко, З.В. Об одном методе оценки финансовых потоков от взыскания / З.В. Максименко, Л.Ф. Розанова, А.А. Аскарова, К.А. Федорова // Компьютерные науки и информационные технологии (CSIT'2015) : тр. 17-го Междунар. симп., Рим, Италия, 2015. Т. 1. С. 167–172. (На англ. яз.).

5. Первое коллекторское бюро [Электронный ресурс]. URL: https://www.collector.ru

6. Подлесный, С.Ю. Оптимизация выбора стратегии взыскания просроченной задолженности / С.Ю. Подлесный // Упр. в кредит. организации. 2008. № 5. С. 18–19.

7. Рындин, Р.В. Построение модели оптимизации выбора решения при управлении просроченной задолженностью физических лиц / С.Е. Ландсберг, Р.В. Рындин, С.Н. Андреищев // Интеллектуализация управления в социальных и экономических системах. Воронеж : Воронеж. гос. техн. ун-т, 2010. С. 39–41.

8. Системы кредитного скоринга. Scorto™ [Электронный ресурс]. URL: http://www.scorto.ru.

9. Скиба, С.А. Коллекторский скоринг / С. А. Скиба // Науч. журн. КубГАУ. 2013. № 93 (09). С. 1–10.

Сведения об авторах

Максименко Зоя Викторовна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. zubazzz@mail.ru

Федорова Ксения Александровна — магистрант кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. kseniya-666@mail.ru

Медведева Екатерина Вячеславовна — магистрант кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. kate___m.93@mail.ru

---

Z. V. Maksimenko, K. A. Fedorova, E. V. Medvedeva

DEVELOPMENT OF COMPREHENSIVE STRATEGY OF DEBT COLLECTION MANAGEMENT

An approach to the formation of comprehensive debt collection strategy on the basis of collection scoring intellectual information technologies in risk management system of organization is considered. Within the framework of the proposed strategy the instruments that solve the tasks of debtors' classification and the probable sum of their payments estimation. Scoring results included into the model of optimal collection program formation, allow choosing the best collection method for each debtor and improving management decisions about individual debtors and debts' portfolios overall.

ББК У262.1
УДК 336

В. А. Мельников

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ФИНАНСОВЫХ РЫНКОВ

Рассматриваются современные методы технического анализа, а также тенденции их развития в будущем. Выдвигается гипотеза о недостаточности информации, используемой в техническом анализе, для успешного совершения сделок. Предлагается анализировать поток ордеров совместно с традиционным техническим анализом для повышения прибыльности.

Прогнозирование биржевых цен акций, а в дальнейшем и производных инструментов всегда являлось крайне важной задачей для любого игрока на рынке в не зависимости от размера его капитала. Поисками методов анализа занимались тысячи ученых из разных областей науки — математики, экономики, психологии. В результате к концу XVIII в. происходит разделение методов анализа рынка на фундаментальные и технические методы. Фундаментальные методы анализа используют финансовые и производственные показатели деятельности компании или предприятия, в то время как технические методы основаны на прогнозировании вероятного изменения цен с учетом закономерностей в виде аналогичных изменений цен в прошлом, в схожих обстоятельствах. В рамках нашей статьи попробуем разобраться, какие методы технического анализа действительно работают и в каком направлении движется технический анализ в настоящее время.

Технический анализ рынков получил толчок в развитии, начиная с появления ЭВМ, с помощью которой стало возможным обрабатывать большие объемы информации и строить закономерности. Наибольшая популярность технического анализа была достигнута с развитием сети Интернет и электронной торговли, когда для подключения к бирже достаточно было иметь персональный компьютер и выход в Интернет. К этому моменту сформировался и основной набор данных, которые анализируют методы технического анализа. Среди них: цена совершаемой сделки, объем торгов и ликвидность инструмента, показатели спроса и предложения. Также и методы технического анализа получили свою классификацию:

1) поиск трендов, или некоторых ценовых каналов;

2) выявление различных графических фигур разворота или продолжения движения;

3) использование различных индикаторов, рассчитываемых на основе данных предыдущих периодов и наглядно представляющих неочевидную информацию (MA, RSI, MACD и др.) [1].

Следует также отметить, что с развитием доступа в Интернет, стали меняться и сами рынки. Если раньше в среднем тренд мог длиться годами, то в текущий момент, по статистике бирже CME (Chicago Market Exchange), 98 % позиций закрывается в день открытия, соответственно, современные рынки стали не трендовыми, а спекулятивными, и, следовательно потребность в увеличении скорости принятия решения многократно возросла.

Теперь проведем анализ типов методов технического анализа.

1. Трендовые линии, или ценовые каналы.

Данный метод основан на выявлении некоторых графических закономерностей в поведении цены, таких как отбой от одних и тех же ценовых линий. Минусом данного метода является то, что ценовую линию каждый может нарисовать по-разному. Рассмотрим пример (рис. 1).

В данном примере видно, что трендовую линию можно было нарисовать двумя разными способами, и в одном случае она была пробита, а в другом цена удержалась выше. В связи с этим возникают сомнения, и нет уверенности, стоит ли покупать при отскоке к данной линии.

2. Выявление различных графических фигур разворота или продолжения движения.

Данный метод в первую очередь основан на понятии тренда (как восходящего, так и нисходящего).

Тренд — направление преимущественного движения показателей. При этом, по теории Чарльза Доу, при восходящем тренде каждый последующий пик, так же, как и каждый последующий откат цены, должен быть выше предыдущих. Минусами данного метода является возможное различие в трендах в зависимости от выбранного временнóго ряда, а значит, и сложность в определении тенденции, а также отсутствие явного места входа в сделку при откате.

3. Использование различных индикаторов, построенных по математическим формулам на основе данных прошлых периодов.

Индикаторы делят на тренд-следующие и стохастические. Тренд-следующие индикаторы показывают, куда движется цена рынка на основе усреднения значений предыдущих периодов. Стратегия использования данных индикаторов заключается в покупке акций или инструмента, при приближении цены к линии индикатора. В случае если цена находится выше линии индикатора, и, наоборот, в случае если цена ниже линии индикатора. Минусом данного типа индикаторов является невозможность определения

Рис. 1. Пример трендовых линий

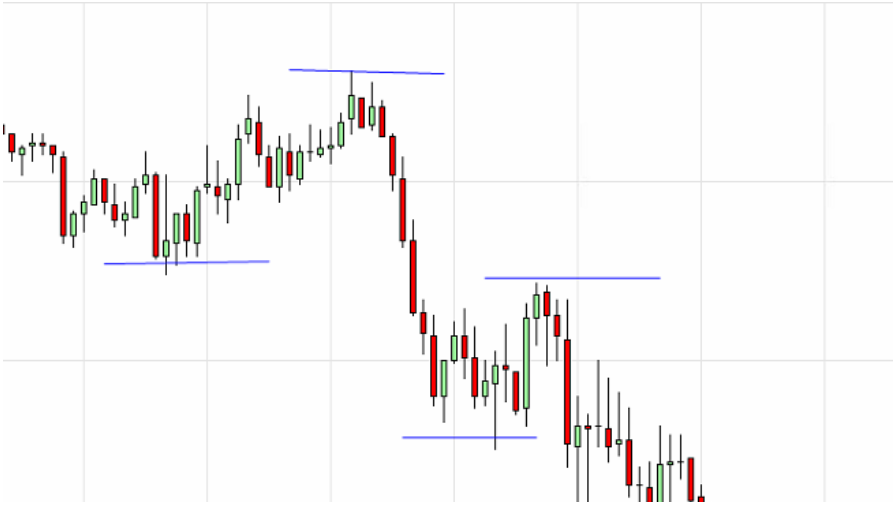


Рис. 2. Пример нисходящего тренда

Рис. 3. Пример скользящей средней и ее ложных срабатываний

Рис. 4. Пример стохастического индикатора и его ложных срабатываний при направленном движении

значимости той или иной линии. Ведь МА может быть построена на основе разных периодов, а значит, будет огромное количество линий и многие из них не сработают. При боковом движении рынка будет даваться огромное количество ложных сигналов.

Стохастические индикаторы показывают положение текущей цены относительно диапазона цен за определенный период в прошлом (измеряется в процентах). Стратегия заключается в продаже при подходе индикатора к верхней границе (>80 %), и покупке, в случае если индикатор находится у нижней границы (<20 %). Минусом данного индикатора является работа при трендовом движении. Во время тренда цена может длительное время находится у верхней границы ценового канала.

Таким образом, проведя анализ современных технических индикаторов, можно прийти к выводу, что все технические методы хотя и показывают места и точки вхождения в позицию, но дают много разночтений и ложных срабатываний. В связи с этим появляется необходимость получения дополнительной информации около предполагаемых точек входа в рынок. Прежде чем определиться с типом дополнительной информации, необходимо дать классификацию игроков, участвующих в торгах на биржах [2].

1. Институциональные трейдеры — профессиональные трейдеры, работающие на банки, хедж-фонды и другие финансово-кредитные организации. Именно данный тип трейдеров обладает значительными денежными средствами, способными двигать рынки в необходимом направлении.

2. Ретейл-трейдеры, или частные игроки. Данный тип трейдеров крайне многочислен, но при этом не обладает достаточным количеством денежных средств, способных влиять на движения на рынке.

Из данной классификации четко прослеживается следующая закономерность: институциональный трейдер находится в более выгодной ситуации над ретейл-трейдером, так как обладает некоторой возможностью влиять на рынок. В связи с этим ретейл-трейдер не может ограничиваться только лишь прогнозированием движения цены, но также должен видеть те действия, которые совершает институциональный трейдер, и сопоставлять их со своим прогнозом. Фактически для того чтобы получить прибыль, ретейл-трейдер должен следовать за действиями банковского трейдера. Значимой будет являться информация о действиях трейдеров в районе предполагаемых нами уровней, а именно совершаемые сделки и их объем около выделенных нами уровней.

Под анализом совершаемых сделок понимается анализ потока ордеров, или Order flow [3]. Анализ потока ордеров получил широкое развитие еще в начале XX в., когда он производился на основе телеграфной ленты, в которой печаталась цена покупки и размер покупки. Затем данный метод был несколько забыт и получил новую жизнь в начале XXI в. Основным инструментом при анализе потока ордеров является лента сделок по аналогии с телеграфной лентой и стакан сделок, в котором отображаются заявки на покупку и продажу, ожидающие исполнения.

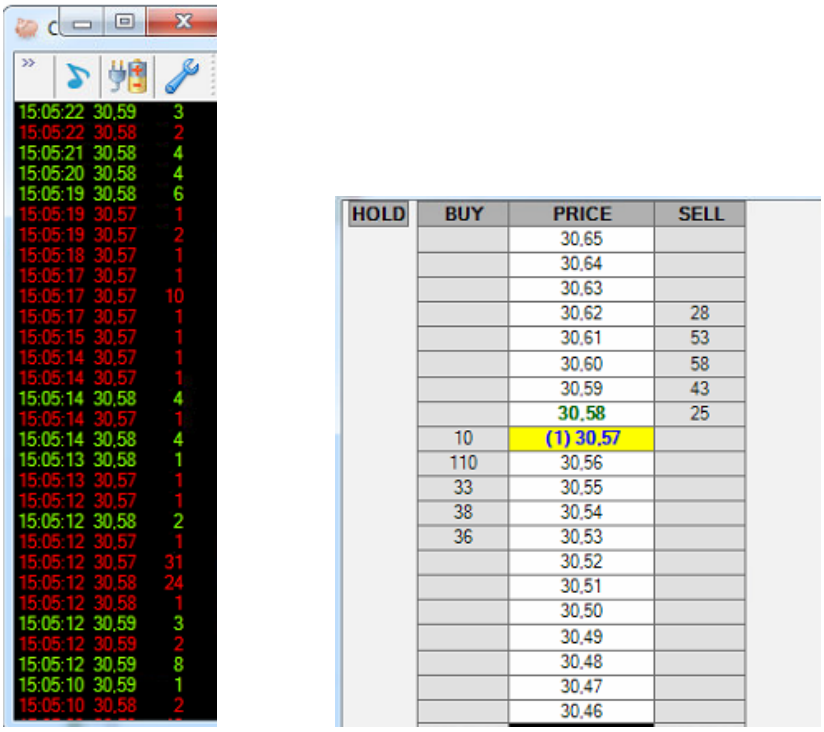


Рис. 5. Пример ленты ордеров и «стакана заявок»

В анализе потока ордеров разделяют несколько типов ситуаций, указывающих на то, что перед нами крупный игрок, который формирует позицию.

1. Ситуация поглощения, или ситуация айсберга. Допустим, видно, что в среднем на каждом ценовом уровне стоит 40 контрактов и чтобы цене перескочить вверх, нужно купить все 40 контрактов. Но по ленте также видно, что по этой цене уже было куплено 200 контрактов, а цена не сдвинулась с места. Такая ситуация называется айсбергом или скрытой заявкой. Крупный игрок прячет свою заявку, чтобы никто не догадался, что он там есть. Это может указывать на интерес крупного трейдера к данному ценовому уровню.

2. Ситуация отсутствия интереса. Данная ситуация, как правило, развивается какое-то время. Видно, что каждый раз при подходе к определенной цене ни одного контракта около нее не торгуется. Это также говорит о возможном развороте, хотя и не указывает явно на крупного игрока.

На основании всего вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. Стратегии технического анализа не являются достаточными для успешной торговли на финансовых рынках, поскольку дают слишком много ложных сигналов.

2. Наилучшей стратегией заработка на рынках является стратегия следования за действиями крупных игроков, которая существенно повышает результат трейдера.

3. Для отслеживания действий крупных трейдеров необходим анализ потока ордеров для отслеживания крупных сделок (айсберги) или же отсутствия интереса около важных уровней.

В дальнейшем нами планируется провести статистический анализ использования методов технического анализа с анализом потока ордеров и без него, для подтверждения нашей гипотезы.

Библиографический список

1. Найман, Э. Малая энциклопедия трейдера [Электронный ресурс] / Э. Найман ; под ред. М. Савина. 14-е изд. М. : Альпина Паблишерз, 2014. 455 с. URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=279698 (Дата обращения 02.02.2016).

2. Zucchi, K. What is the Difference Between Institutional Traders and Retail Traders? [Электронный ресурс] / K. Zucchi. URL: http://www.investopedia.com/articles/active-trading/030515/what-difference-between-institutional-traders-and-retail-traders.asp (Дата обращения: 02.02.2016).

3. Анализ потока ордеров от jigsawtrading.com [Электронный ресурс]. URL: http://www.jigsawtrading.com/learn-to-trade/free-order-flow-analysis-lessons (Дата обращения 02.02.2016).

Сведения об авторе

Мельников Виталий Андреевич — кандидат экономических наук, доцент кафедры информационных технологий Челябинского государственного университета. Protei300@gmail.com

---

V. A. Melnikov

MODERN DEVELOPING TENDENCIES OF FINANCIAL MARKETS TECHNICAL ANALYSIS

In this article are shown modern technical analysis methods, and their developing tendencies. The hypothesis is made about insufficient information, which is being used by technical analysis, to trade in profit. Order flow analysis is suggested as solution to find that insufficient information.

ББК В187
УДК 004.8

И. Е. Николаев, Ю. В. Петриченко

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ TEXTMINING ДЛЯ КОНТЕНТ-АНАЛИЗА МНЕНИЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ РЫНКА ГОСТИНИЧНЫХ УСЛУГ

Рассматривается построение модели анализа отзывов потребителей рынка гостиничных услуг с использованием технологии и методов TextMining. Описывается актуальность разработки данной модели и сферы её применения.

Современные рыночные условия создают благоприятную ситуацию для развития все большей конкуренции на рынке гостиничных услуг. На конкурентоспособность средств размещения влияет множество факторов, которые определяют способность хозяйствующего субъекта в существующих социально-экономических и политических условиях, с учетом специфики в предоставлении подобных услуг, выживать на рынке и развиваться дальше.

Если рассматривать конкурентные преимущества в гостиничной сфере на тактическом уровне, то можно говорить о таких факторах, которые являются элементами внутренней или внешней среды предприятия и по которым это предприятие превосходит на данный момент или будет превосходить конкурентов в краткосрочном периоде.

На стратегическом уровне конкурентные преимущества в сфере средств размещения появляются после выполнения в перспективе конкретных условий, определяющих превосходство анализируемого компонента гостиницы по сравнению с другими конкурирующими предприятиями данной сферы.

Одним из основных тактических конкурентных преимуществ в сфере средств размещения на данный момент является способность организаций доносить полную, достоверную, актуальную информацию о себе и предоставляемых услугах, получать информацию — обратную связь об уже оказанных услугах, а также оперативно реагировать на получаемые отзывы, особенно негативные.

И на стратегическом уровне изучаемым организациям для того, чтобы постоянно увеличивать свою конкурентоспособность, нужно грамотно, учитывая все изменения запросов потребителей, выстраивать свои бизнес-процессы по предоставлению услуг, а также оперативно реагировать на изменение настроения потребителей и их потребностей.

С этой целью многие компании нанимают дополнительных специалистов для анализа обратной связи с клиентами в виде отзывов и рейтингов из различных источников о своих компаниях и предоставляемых услугах. Крупные организации даже формируют отделы повышения качества. Однако, в связи с большими объемами данных, а количество отзывов в различных информационных ресурсах по услугам конкретной компании может достигать нескольких тысяч, провести такой анализ в ручном режиме не всегда удается оперативно и качественно.

Сложность задачи автоматического анализа заключается в том, что необходимо разработать модель обработки отзывов потребителей услуг, сформулированных на естественном языке, извлекая и анализируя не просто общую информацию об услуге в целом, а информацию о концептах (объектах) предметной области, причастных к этой услуге.

В данной статье предлагается методика анализа отзывов пользователей гостиничных услуг с применением технологии TextMining.

На первом этапе следует определить, какую информацию и из каких источников необходимо проанализировать. Это могут быть тематические веб-ресурсы, книги жалоб и предложений компании и т. п. При большом количестве документов необходимо использовать варианты автоматического сбора и отбора документов по заданным критериям (программы-парсеры или -краулеры).

На втором этапе происходит предварительная обработка текстов. На этом этапе тексты проходят три стадии (рисунок, блоки 1–3):

– графематический анализ: токенизация, удаление стоп-слов, определение именованных сущностей, приведение регистра;

– морфологический анализ: лемматизация и стемминг слов, NER (Named Entity Recognizer), POS (parf of speech) и др.;

– синтаксический анализ: построение дерева синтаксического разбора, определение частей речи и связей между ними.

В результате реализации второго этапа исследования обрабатываемый текст становится более строгим и снабжается дополнительной метаинформацией, необходимой для более эффективной обработки на последующих этапах.

На третьем этапе (рисунок, этап аналитической обработки текстов, блоки 5–7) текст параллельно анализируется по трем направлениям:

– семантический анализ (рисунок, блок 5);

– частотный анализ (блок 6);

– анализ тональности, или сентимент-анализ (блок 7).

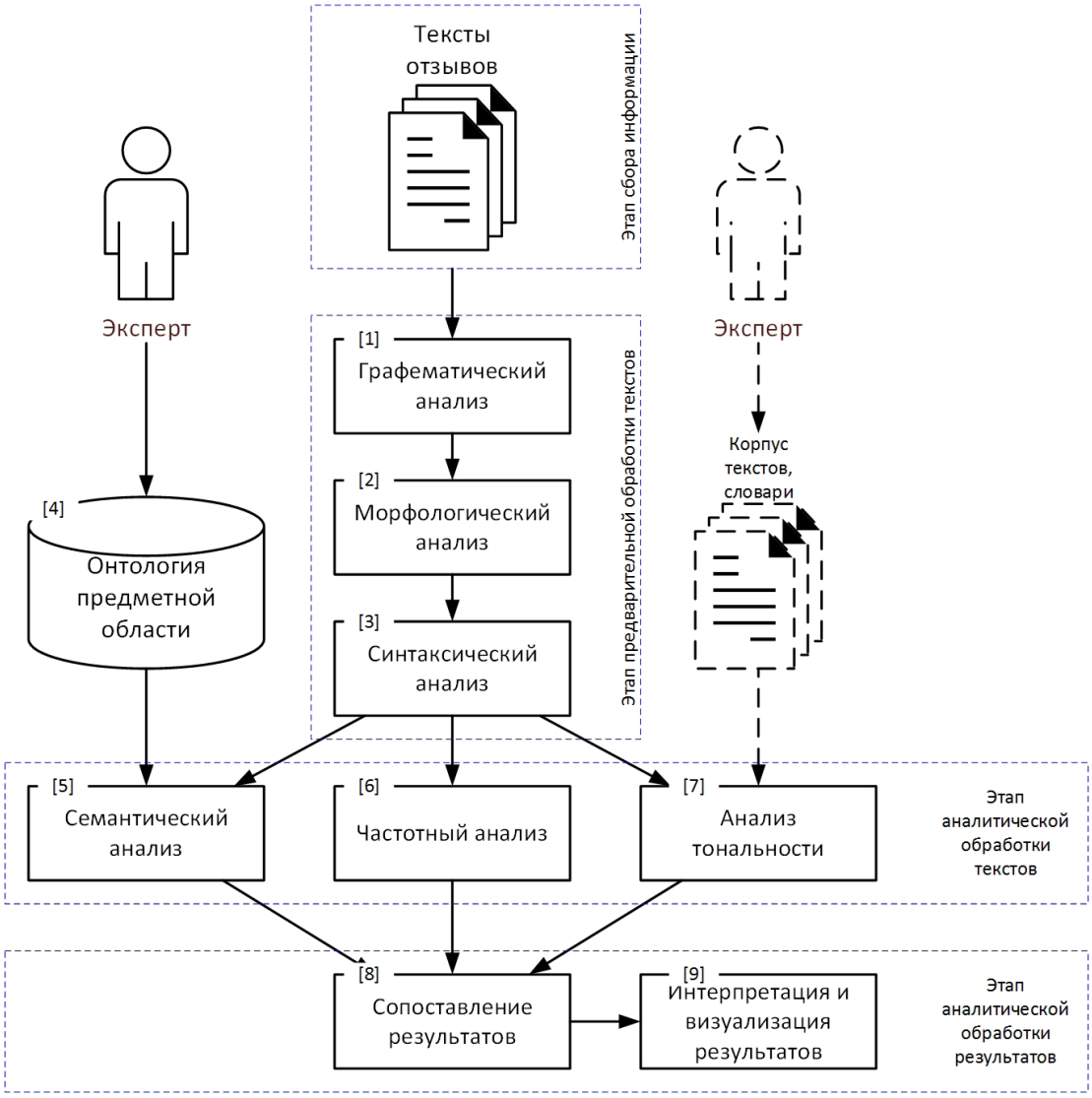


Схема анализа отзывов с использованием технологий TextMining

Перед началом работы семантического анализатора экспертом проектируется онтология* концептов** предметной области (предметная онтология***. Это необходимо для того, чтобы определить наиболее интересные и важные концепты для их дальнейшего практического анализа.

Этапы проектирования онтологии [7–10]:

– определение классов концептов предметной области;

– расположение классов в таксономической иерархии, определение связей (отношений) между концептами;

– определение характеристик (слотов) концептов и описание ограничений значений этих характеристик.

В результате работы эксперта мы получаем онтологию концептов предметной области.

На этапе семантического анализа происходит извлечение информации из текстов в виде семантического графа, содержащего концепты и связи между ними. Затем элементы построенного графа сопоставляются с концептами, определенными в онтологии ПО. Это позволяет отделить только целевые концепты и их семантическое окружение для данной предметной области.

---

* Онтология — это подробная, формальная спецификация концептуализации структуры определенной проблемной области. Концептуализация представляет собой описание понятий, а также всю информацию, имеющую отношение к понятиям (свойства, отношения, ограничения, аксиомы, утверждения) и необходимую для описания и решения задач в избранной предметной области. Формально онтология состоит из понятий (терминов, организованных в таксономию), их описаний и правил вывода.

** Концептуальная модель — система концептов и отношений предметной области. Концепт — понятие, отражающее некоторый конкретный или абстрактный объект реального мира.

*** Предметная онтология — содержит понятия, описывающие конкретную предметную область и отношения, семантически значимые для данной предметной области.

На этапе частотного анализа на построенный семантический граф накладывается частотность упоминания концепта в тексте документа. Частотная характеристика встречаемости концепта в тексте дает возможность задать весовые коэффициенты для дальнейшего анализа.

На этапе анализа тональности определяется тональность отдельных элементов текста (предложений) и документа в целом. Полученная характеристика накладывается на семантический граф, полученный ранее.

Существуют три основных метода определения тональности текста [3–6]:

1. Анализ текста методами векторного анализа (часто с применением *n*-граммных моделей) [Pang & al., 2002; Pang & al., 2005; Gamon, 2004], сравнение с ранее размеченным эталонным корпусом по выбранной мере близости и отнесение (классификация) текста к негативу или позитиву на основании полученного результата сравнения. Этот метод работает достаточно быстро, но требует наличия предварительно размеченного эталонного корпуса, на основе которого происходит обучение алгоритма сравнения. Существенными недостатками такого подхода оказываются увеличение трудоемкости и ограничение разнородности корпуса (то есть неполнота лексического покрытия), что приводит к потере точности. К тому же данный метод не позволяет провести глубокий анализ текста, то есть выявить и показать эмотивность на уровне предложения.

2. Поиск эмотивной лексики (лексической тональности) в тексте по заранее составленным тональным словарям (спискам паттернов) с применением лингвистического анализа [Nasukawa, 2003; Yi, 2003]. По совокупности найденной эмотивной лексики текст может быть оценен по шкале, отражающей количество негативной и позитивной лексики. Этот метод может использовать как списки паттернов, подставляемые в регулярные выражения, так и правила соединения тональной лексики внутри предложения. Этот метод не менее трудоемок в составлении тональных словарей (или получения списка тональных паттернов). Метод определения эмоций в текстах на русском языке, но в сочетании с синтаксическим и морфологическим анализом более гибок: он позволяет не только показать цепочки тональной лексики, но и получить синтаксически корректные эмоциональные выражения. При хорошем наполнении тональных словарных списков этот метод позволяет достичь хорошей полноты (покрытия эмотивной лексики). Недостаток этого метода в том, что с помощью него сложно дать количественную оценку негативности-позитивности текста.

3. Смешанный метод (комбинация первого и второго подходов). Чтобы избежать недостатков первого и второго метода, используют смешанный подход [Prabowo & al., 2009; Konig, 2006], частично включающий в себя два первых.

На четвертом этапе происходит сопоставление результатов третьего этапа аналитической обработки текста. Из построенных семантических графов, полученных из текстов отзывов, выделяются концепты и их семантическое окружение, существенные с точки зрения предметной онтологии. На выделенные концепты накладываются частотная и тональная характеристики.

Фактически, в результате последнего этапа будут выделены:

– наиболее значимые концепты предметной области, определенные экспертом;

– количественная характеристика их встречаемости в тексте — показатель, который в последующем может использоваться как весовая функция;

– эмоциональная характеристика, выражающая эмоциональный контекст объекта с точки зрения потребителей услуг.

Объединяя полученные результаты с дополнительной метаинформацией (информацией о дате размещения отзыва; геолокационных данных пользователя, разместившего отзыв; учитывая рейтинг доверия пользователя из истории размещаемых им отзывов и т. п.), можно построить многомерную модель данных, которая будет содержать информацию о том, как изменялось отношение потребителей к той или иной услуге компании в многомерном пространстве аспектов.

Реализация представленной модели в виде информационной системы или сервиса имеет весьма широкий круг возможных сфер применения:

– в системах анализа обратной связи предприятиями в сфере размещения для более детального и оперативного мониторинга качества своих услуг;

– при проведении маркетинговых исследований соответствующего рынка для более детального и оперативного мониторинга качества услуг конкурентов, и выстраивания своей наиболее эффективной маркетинговой стратегии;

– потребителями для поиска компаний, имеющих более высокий рейтинг эмоционального отклика на основе отзывов других пользователей;

– поисковыми системами для повышения релевантности поисковой выдачи на запросы пользователей, содержащие определенные требования к качеству искомых услуг в сфере размещения;

– предприятиями туристского бизнеса для выбора партнеров в сфере размещения, имеющих более высокий рейтинг на основе анализа отзывов пользователей.

Предложенная модель может быть полезна при разработке рекомендательных систем в сфере услуг размещения, а также при поиске новых, неизвестных ранее моделей поведения потребителей услуг. Предложенная модель также может быть применена

для анализа других рынков услуг, не связанных со сферой туризма, где имеется достаточная база отзывов, несущих в себе эмоциональную составляющую.

Библиографический список

1. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. СПб. : БХВ-Петербург, 2008. 384 с.
2. Montes-y-Gomez, M. Text Mining at Detail Level Using Conceptual Graphs / M. Montes-y-Gomez, A. Gelbukh, M. Lopez-Lopez // Lecture Notes In Computer Science. Vol. 2393. P. 122–136.
3. Pang, B. Opinion Mining and Sentiment Analysis / B. Pang, L. Lee // Foundations and Trends in Information Retrieval. 2008. № 2 (1–2). P. 1–135.
4. SentiStrength [Электронный ресурс] // SentiStrength — sentiment strength detection in short texts. URL: http://sentistrength.wlv.ac.uk/#About 28.11.2012
5. Thelwall, M. Sentiment strength detection in short informal text / M. Thelwall, K. Buckley, G. Paltoglou, D. Cai, A. Kappas // J. of the American Society for Information Science and Technology. 2010. № 61 (12). P. 2544–2558.
6. Меньшиков, И. Л. Обзор систем анализа тональности текста на русском языке / И. Л. Меньшиков, А. Г. Кудрявцев // Молодой ученый. 2012. № 12. С. 140–143.
7. Меньшиков, И. Л. Анализ тональности текста на русском языке при помощи графовых моделей / И. Л. Меньшиков // Доклады всероссийской научной конференции АИСТ'2013 : сб. ст. Екатеринбург, 2013. С. 151–155.
8. Норенков, И. П. Интеллектуальные технологии на базе онтологий / И. П. Норенков // Информ. технологии. 2010. № 4. С. 17–91.
9. Лапшин, В. А. Онтологии в компьютерных системах / В. А. Лапшин. М. : Науч. мир, 2010. 222 с.
10. Константинова, Н. С. Онтологии как системы хранения знаний [Электронный ресурс] / Н. С. Константинова, О. А. Митрофанова. URL: http://www.sci-innov.ru/icatalog_new/index.php?action=send_att&entry_id=68352&fname=68352e2-st08_(Митрофанова О.А.).pdf
11. Полетаева, Е. В. Построение информационной системы машиностроительного производства на базе предметной онтологии : монография / Е. В. Полетаева. Тверь : Изд-во ТГТУ, 2015. 195 с.
12. Автоматическая обработка текста [Электронный ресурс] : сайт группы по разработке програм. обеспечения в области автомат. обработки текста. URL: http://www.aot.ru
13. Международная конференция по компьютерной лингвистике «Диалог» [Электронный ресурс]. URL: http://www.dialog-21.ru

Сведения об авторах

Николаев Иван Евгеньевич — преподаватель кафедры информационных технологий и экономической информатики Челябинского государственного университета. ivan_nikolaev@csu.ru

Петриченко Юлия Владимировна — кандидат экономических наук, доцент, заведующая кафедрой информационных технологий и экономической информатики Челябинского государственного университета. yulia-c@yandex.ru

---

I. E. Nikolaev, Y. V. Petrichenko

TEXTMINING TECHNOLOGY APPLICATION FOR CONTENT ANALYSIS OF HOTEL SERVICES MARKET CONSUMERS' REVIEWS

The article discusses building the analysis model of hotel services market consumers' reviews using TextMining technology and techniques. The relevance and applicability of such modelling is described.

ББК Ч426.32
УДК 372.8

А. А. Панюкова, В. И. Дударева

О ВОЗМОЖНЫХ ПУТЯХ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ У ШКОЛЬНИКОВ ПРИ РАБОТЕ В ИНФОРМАЦИОННОМ ПОЛЕ

Сформулированы некоторые конкретные предложения, способствующие формированию информационной культуры школьников. Сделано предположение о полезности применения теории хаоса к процессу получения и восприятия информации.

В статье [1] обсуждаются вопросы формирования информационной культуры школьников. Обозначены некоторые проблемы, возникающие при переходе к компетентностной модели образования. Сформулированы некоторые конкретные предложения, позволяющие скорректировать ситуацию.

Отмечено, что в современном обществе успешность человека в жизни во многом определяется его умением ориентироваться в информационном потоке. Учащаяся молодежь является одной из наиболее активных социальных групп, призванных овладеть технологией «информационного самообслуживания», включающей приемы поиска, анализа и синтеза информации, технологию подготовки различных информационных продуктов. ИТ-образование — обширное поле профессионального образования, представляющее собой сложную область, развитие которой требует системного подхода.

Способность к образованию является существенным признаком человека. Однако стремительный темп жизни, быстрая смена технологий, невиданный рост информатизации значительно опережают в своем развитии образование, которое является важнейшим социальным институтом. Образование во всех эпохах было основано на нуждах этих эпох, и обучающиеся получали весьма конкретную информацию и взгляд на нее с микро- и макроуровня. Но такой подход не приемлем для настоящего времени [2; 3].

Сегодня развитие технологий таково, что практически каждый из нас может в любое время достаточно быстро из Интернета получить любую общеупотребительную информацию, приложив для этого минимум усилий. Зачастую этой легкодоступной информации будет достаточно, чтобы решить конкретную задачу, которая возникла перед человеком. Казалось бы, ценность энциклопедических знаний падает — в любой момент можно загрузить информацию о любом объекте. И это провоцирует учащихся на неверное умозаключение, что совсем не обязательно обогащать свои знания подобной информацией, достаточно только умения с информацией работать. Более того, вопрос о том, обладает ли такой учащийся умением работать с информацией, не всегда решается в пользу школьника. Иногда и здесь имеет место лишь иллюзия умения работать.

В любой жизненной ситуации человек всегда стремится к наиболее простому сценарию, это естественно. Однако такой легкий доступ к информации не способствует стремлению к самосовершенствованию, саморазвитию, так как очевидно, что развитие может происходить только через преодоление трудностей. Особенно это актуально для школьников, так как иллюзия легкодоступности информации и возможности сформировать быстрое решение настолько привлекательна, что процесс получения знаний, понимание их необходимости, желание более или менее глубоко разобраться в изучаемом предмете уходят на второй план.

Тем не менее нельзя не согласиться с тем, что

1) знания, которыми обладает человек, значительно ускоряют процесс принятия решений. Современные каналы связи способны передавать ежесекундно огромное количество информации, однако затем скорость получения информации ограничивается пропускной способностью человеческого мозга к восприятию и анализу этой информации. Этот процесс строго индивидуален, но несомненно, что обладание априорными знаниями о предмете существенно сокращает временны́е затраты на получение искомой информации или даже вовсе их исключает. Можно предположить, что с дальнейшим развитием технологий именно скорость принятия осознанных и обоснованных решений выйдет на первый план;

2) чем быстрее человек может принимать решения, адекватные ситуации, — тем он ценнее для общества в целом, чем глубже понимание предмета принятия решения — тем более глобальное решение может быть принято. Можно возразить, что принятие решений можно автоматизировать. Это действительно так, однако автоматизация окажется продуктивной только в том случае, когда познание человеческой сущности и работы мозга в частности позволит разработать алгоритмы, корректно работающие во всем многообразии моделей человеческого поведения, в том числе и в рамках понятий психологического комфорта, вкусов, подсознания и т. п. с учетом особенностей конкретных участников процесса. Пока этого нет — автоматически могут приниматься решения только на основе статистических данных, если речь идет о массовых явлениях, или на

основе «экспертных оценок», «экспертных принятий решения», если проблема того требует;

3) глубокое понимание процесса подразумевает под собой компиляцию знаний о процессе, полученных в разные промежутки времени: одновременное видение как ситуации в целом, так и деталей, видение динамики процесса. Эти знания могут быть почерпнуты как из опыта предшественников, так и из личного опыта и формируются в рамках системного подхода к решаемой задаче. Нетрудно увидеть, что чем сложнее решаемая проблема, тем дальше необходимый набор знаний от содержимого одной условной странички интернет-энциклопедии.

Однако для решения большинства учебных задач той информации, что почерпнута на двух-трех страницах интернет-энциклопедии за пару минут, действительно может оказаться достаточно для выполнения самостоятельной работы, домашнего задания и других целей, отчего и создается иллюзия ненужности овладения знаниями. Зачем тратить минимум девять лет на обучение и запоминание, если можно просто открыть браузер и написать то, что нужно?

Так ли это? Первая проблема возникает в районе слов «то, что нужно». Нельзя эффективно работать с произвольной информацией, не владея подобной, на этом построено человеческое познание и работа самообучающихся алгоритмов. В этом вопросе автоматика поисковых систем идет навстречу — анализируя запрос человека и информацию о самом человеке, она все более корректно реагирует на все менее корректно составленные запросы. Однако полнота информации в случае адекватно составленного запроса для решаемой задачи естественно будет выше, а время, затраченное человеком на поиск и анализ необходимой информации,— меньше.

Ограничивая в себе необходимость получения знаний, мы ограничиваем и возможность тренировки навыка получения и анализа знаний, а в результате и возможность более быстрого решения задач. Если учесть, что найденную информацию необходимо еще и воспринять, налицо явное уменьшение скорости ее обработки.

Очевидно, что развитие информационных технологий увеличивает объем информации, доступной человеку для осуществления своей деятельности. Возможность использовать все больший объем информации неминуемо приводит к увеличению времени на ее восприятие, что не всегда желательно и возможно при нашем темпе жизни, поэтому естественно возникает задача повышения эффективности получения информации. В связи с этим представляется целесообразным поиск разнообразных подходов, смягчающих данную проблему.

В связи с вышесказанным авторам статьи представляется полезной попытка рассмотреть некоторые проблемы школьного обучения, связанного с IT-образованием, с точки зрения теории хаоса.

Почему теория хаоса?

Заметим, что в детском возрасте естественное познание человеком окружающего мира и взаимодействие с ним строится как раз на хаотическом получении знаний, и этот объем знаний существенно превосходит по количеству знания, получаемые в дальнейшем [4; 5].

В школе обучение строится на изучении определенных тем. Всем известно предположение Клода Шеннона о том, что прирост информации равен утраченной неопределённости. Количество информации в сообщении о некотором событии зависит от его вероятности. Чем меньше вероятность события, тем больше информации оно несёт. Человек лучше (быстрее и на больший промежуток времени) запоминает маловероятные события.

В традиционном подходе к обучению уменьшается количество информации, передаваемое ученику в каждом конкретном утверждении. Для того чтобы информация запомнилась, она повторяется несколько раз (уменьшается количество информации в каждом конкретном сообщении, но увеличивается ее объем за счет повторения!).

Информация, получаемая студентом за первые два семестра, может по объему превосходить всю школьную программу, которая осваивается одиннадцать лет. Хотелось бы сказать, что в школе учат учиться, однако, если бы это было однозначно так, у студентов не возникало бы проблем в первые семестры обучения в вузе.

Применение теории хаоса к таким системам, как школы, означает восприятие процессов обучения и мышления как нелинейных.

Как показывает опыт преподавания в 3–11-х классах, ученики лучше запоминают и учатся оперировать информацией, если отойти от линейной последовательности изучаемых тем. Например, было замечено, что при подготовке к выпускным экзаменам при линейном разборе заданий ученик хорошо помнит лишь две-три последние темы, в то время как остальные просто забывает. Произвольный же порядок разбора заданий позволяет держать в голове контексты всех или почти всех разделов одновременно, что значительно больше отражает реальное наличие знаний у ученика по предмету в целом.

Так как существующая школьная программа подразумевает изучение вполне определенных в рамках учебного года разделов, соответствующих рабочим программам, нелинейность подачи информации можно осуществить за счет включения максимально возможного количества межпредметных и метапредметных связей.

Успеваемость индивида может меняться с течением времени. Нелинейность и динамичность используемой модели позволит при составлении индивидуальной образовательной траектории учесть способности конкретного ученика к обучению и восприятию.

Вселенная — хаотична. Она полна неизвестности, трудно точно предположить, что произойдет в конкретное время или в далеком будущем. Теория, объясняющая этот феномен, — теория хаоса, и она весьма близка к области обучения [2; 3; 6].

Хаос естественен, это ключевой компонент Вселенной. Хаос может породить неопределенность, но также он может породить возможности для преобразований.

Теория хаоса в гуманитарных науках берет свое начало из физики и математики. В области образования теория хаоса дает свежий взгляд на образовательную систему, в которой каждый изучает информацию в контексте той философии, которая актуальна на момент изучения.

Однако при таком подходе возникает вопрос: если множество маловероятных событий будет достаточно велико, сохранится ли у учеников способность хорошо и быстро их запоминать и, как следствие, эффективно ли использовать это в дальнейшем?

Для того чтобы проверить данную гипотезу, в настоящее время создается обучающе-игровая онлайн-викторина, выбор вопросов в которой будет осуществляться по одной из следующих стратегий:

1) линейная, когда обучение строится по темам и содержит повторение вопросов для контроля прогресса и закрепления;

2) хаотичная, когда в качестве каждого следующего вопроса предлагается по возможности менее вероятная информация с точки зрения восприятия конкретного человека;

3) адаптивная, сочетающая в себе первую и вторую стратегии, в зависимости от качества результатов восприятия (увеличения количества правильных ответов).

Анализ результатов такого исследования позволит судить о полезности применения теории хаоса к процессу получения и восприятия информации.

Библиографический список

1. Панюкова, А. А. К вопросу о формировании компетенций у школьников при работе в информационном поле / А. А. Панюкова, В. И. Дударева // Соврем. информ. технологии и ИТ-образование. 2015. Т. 1, № 11. С. 380–383.
2. URL: http://www.fountainmagazine.com/Issue/detail/Understanding-Todays-Schools-with-Chaos-Theory
3. Akmansoy, V. Chaos Theory and its Application to Education: Mehmet Akif Ersoy University Case / V. Akmansoy, S. Kartal // Educational Sciences: Theory & Practice. 2014. № 14 (2). P. 510–518. URL: http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1038743.pdf
4. Панюкова, А. А. Обучение компьютерной графике с использованием свободно распространяемого программного обеспечения / А. А. Панюкова, Т. А. Макаровских, В. И. Дударева // Приклад. информатика. 2014. № 6 (54). С. 37–46.
5. Panyukova, T. A. Organization and methodics for realization of computer graphics studying using free software / T. A. Panyukova, A. A. Panyukova, M. M. Yakshin // The International Workshop on Computer Science and Information Technologies' 2008 : Proceedings of Workshop, Turkey, Antalya, September 15–17, 2008. Vol. 1. Ufa : State Technical University, 2008. P. 238–241.
6. URL: http://www.information-literacy.net/2008/04/chaos-theory-and-education.html
7. URL: https://www.spsc.tugraz.at/sites/default/files/InformationTheory_ChaoticSystems_final.pdf

Сведения об авторах

Панюкова Александра Анатольевна — учитель информатики школы № 1788, Москва. 3meandme@gmail.com

Дударева Валентина Ивановна — кандидат технических наук, доцент кафедры экономико-математических методов и статистики Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета), Челябинск. vdvd12@mail.ru

---

A. A. Panyukova, V. I. Dudareva

ON POSSIBLE WAYS OF SCHOOLCHILDREN COMPETENCE FORMING DURING WORKING IN THE INFORMATION FIELD

Some hypothesis about adopting of student's information culture had been produced. Some suggestions about usage of Chaos Theory in educational process and the whole process of learning, understanding and gaining new experience had been made.

ББК И362-5
УДК 553.98

Ю. В. Полищук, Т. А. Черных, П. В. Полищук

ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ КОЛЛЕКТОРНО-ЛУЧЕВОЙ СИСТЕМЫ СБОРА ПРОДУКЦИИ ОРЕНБУРГСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Рассмотрен способ идентификации состояния коллекторно-лучевой системы сбора продукции Оренбургского газоконденсатного месторождения, который заключается в квалиметрической идентификации их информационной энтропии на основе анализа эксплуатационного контента.

Процесс эксплуатации коллекторно-лучевых систем сбора продукции (КСС) Оренбургского газоконденсатного месторождения (ОГКМ) порождает необходимость принятия управленческих решений, которые характеризуются высокой сложностью процесса управления, появлением нестандартных эксплуатационных ситуаций, необходимостью адаптации процесса управления к возмущениям внешней среды, разноформатностью сопутствующего эксплуатационного контента (СЭК), включающего в себя всю информацию о состоянии КСС в виде электронной документации и формализованных фактографических данных, расхождениями между реальным состоянием управляемой системы и ее отображением в СЭК.

Сложность, а также трудоемкость получения и обработки фактографических данных СЭК способствуют расхождению реального состояния КСС и состояния, отраженного в СЭК. Последнее усиливает информационную энтропию и может негативно сказываться на действиях группы лиц, принимающих решения (ГЛПР). Таким образом, принятие корректных управленческих решений возможно только в случае соблюдения условия о допустимом значении информационной энтропии.

В контексте данной работы под квалиметрической оценкой информационной энтропии будем понимать количественную оценку качества процесса управления с позиции полноты знаний о системе.

Фактографические данные о состоянии КСС поступают в единое хранилище СЭК в виде импульсных информационных потоков, которые представлены электронными документами с квазиструктурированным информационным наполнением, то есть информацией, в которой можно выделить некую структуру, которая заранее целиком или частично неизвестна либо может меняться с течением времени [1].

По каждому информационному потоку поступает определенная фактографическая информация, представленная набором документов, как правило, через фиксированный интервал времени, который будем называть шагом импульса информационного потока. Шаг импульса информационного потока может изменятся во время эксплуатации КСС как по требованию ГЛПР, так и в связи с появлением нестандартных эксплуатационных ситуаций, например, внеплановый ремонт, авария или нехватка персонала и др. [2].

Получаемые из СЭК фактографические данные характеризуют состояние различных параметров КСС в определенный момент времени. Выделяют две основные категории параметров: статические и динамические. Для статических параметров время их получения от БТС не важно, так как их значения не меняются во времени. Динамические параметры характеризуются устареванием, то есть расхождением значения хранимого параметра и реального значения данного параметра в настоящий момент, что обусловлено изменениями значения параметра во времени. В зависимости от вида динамического параметра ГЛПР формирует функцию «устаревания» для данного параметра в зависимости от времени его существования.

На этапе проектирования БТС определяется такое количество информационных потоков фактографических параметров с заданными шагами импульсов, чтобы их знание с учетом их функций устаревания было достаточным для принятия корректных управленческих решений в любой момент времени. На практике при эксплуатации скважин возникает расхождение реального состояния управляемой системы и состояния, отраженного в СЭК. Данное расхождение затрудняет или делает невозможным для ГЛПР идентификацию реального состояния скважин в момент принятия решения [2].

Таким образом, задача мониторинга информационной энтропии скважины заключается в автоматизированном контроле количественной оценки информационной энтропии системы.

Вероятность возможных состояний для скважины снижается при увеличении числа известных характеризующих систему параметров, а информационная энтропия определяется как логарифм отношения всех известных параметров к их теоретическому числу с учетом весомости данных параметров, взятых со знаком «минус» [3]:

$$H_{\text{энтр}} = -\log_2 \frac{F_{\text{ст}}\left(P_{\text{ст}}, K_{\text{ст}}\right) + F_{\text{дин}}\left(P_{\text{дин}}, F_{\text{уст}}, K_{\text{дин}}\right)}{F_{\text{ст}}\left(GP_{\text{ст}}\left(T_{\text{эксп}}\right), K_{\text{ст}}\right) + F_{\text{дин}}\left(GP_{\text{дин}}\left(T_{\text{эксп}}\right), F_{\text{уст}}, K_{\text{дин}}\right)},$$

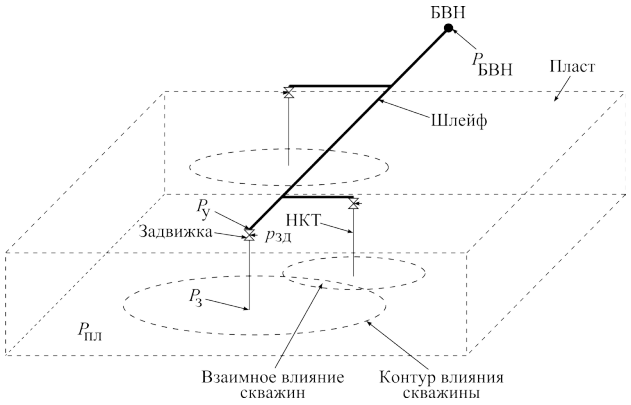
где $F_{\text{ст}}$, $F_{\text{дин}}$ — функции, вычисляющие суммы произведений мощностей множеств статических

и динамических (с учетом функции устаревания) параметров на соответствующие весовые коэффициенты; $P_{ст}$, $P_{дин}$ — множества известных соответственно статических и динамических (с временем их существования) параметров системы; $K_{ст}$, $K_{дин}$ — множества весовых коэффициентов, соответствующих статическим и динамическим параметрам; $GP_{ст}$, $GP_{дин}$ — функции, генерирующие множества теоретически возможных соответственно статических и динамических параметров системы за указанный период; $T_{эксп}$ — время эксплуатации системы.

Выполним квалиметрическую оценку информационной энтропии для двух КСС, эксплуатируемых на ОГКМ [4].

КСС состоит из скважин, которые рассматриваются как отдельные системы, их контуры влияния могут пересекаться, а движение продукции по шлейфу в некоторых случаях приводит к «задавливанию» скважин. Таким образом, границами системы являются газоносный пласт и блок входных нитей (БВН).

Рассмотрим КСС совместно с насосно-компрессорными трубами (НКТ) и контурами влияния скважин. На рисунке показана схема наиболее распространенной в условиях ОГКМ КСС, обеспечивающей сбор продукции с трех скважин.



Продукция поступает к забою скважины из пласта, где находится под пластовым давлением $p_{пл}$. При движении к забою скважины происходит снижение давления до значения $p_з$ (забойное давление). Таким образом, в границах контура влияния скважины образуется депрессионная воронка. Далее продукция попадает в НКТ, по которым поднимается от забоя скважины до КСС, где на входе установлены регулирующие и снижающие давление до значения $p_у$ (устьевое давление) задвижки с местным сопротивлением $p_{зд}$. При перемещении продукции по КСС давление в шлейфах падает, а в тройниках выравнивается по двум направлениям. При дальнейшем движении по шлейфу падение давления позволяет продукции попадать на БВН с давлением, заданным технологическим режимом.

Границы рассматриваемой системы определены известными заданными статическими давлениями газа: пластовое $p_{пл}$ — геологией продуктивного пласта, а на блоке входных нитей $p_{БВН}$ — технологическим режимом эксплуатации месторождения. Таким образом, внутренней характеристикой рассматриваемой системы является давление газа [5]. Установив его на границах участков КСС, найдем все ее параметры.

Основными элементами системы, кроме пласта и БВН, являются: забои скважин, НКТ, соединительные трубопроводы (нити) и тройники. Пласт, забой скважины, БВН и тройники характеризуются величиной статических давлений, а трубопроводы и НКТ — падениями статических давлений между границами участков, которые определены постоянными значениями множества конструктивно-технологических параметров.

Потери статического давления при движении потока от газоносного пласта до БВН происходят в трех зонах: при забойной зоне скважин, подъеме газа на поверхность и трении его о стенки ствола, в трубопроводе [6]. Для принятия корректных управляющих воздействий на КСС должны быть установлены все конструктивные параметры скважин и шлейфов из состава системы, например, внутренние диаметры труб, рельеф шлейфов и т. д. Несмотря на длительный период эксплуатации месторождения, перечисленные параметры известны в полном объеме не для всех КСС из состава ОГКМ. Рассмотренные параметры относятся к категории статических и характеризуют полноту знаний о состоянии системы.

В качестве динамических параметров данной системы, определяющих полноту знаний о ней, рассмотрим пластовые, забойные и устьевые давления, а также значения дебитов газа, конденсата и воды для всех скважин из состава КСС. Значения пластовых и забойных давлений ГЛПР получает из результатов гидродинамических исследований скважин (ГИС), проведение которых дает понимание состояния скважин. В условиях ОГКМ ГИС должны выполняться не реже одного раза в квартал для каждой скважины из состава КСС. Значения дебитов и устьевых давлений принимают по результатам геолого-технологического отчета, который в условиях ОГКМ формируется в конце каждого месяца. В качестве функции устаревания для всех динамических параметров используем экспоненциальную зависимость от времени их существования, на основе которой строятся кривые падения главных эксплуатационных показателей ОГКМ. Масштаб функции устаревания зависит от скорости изменения состояния конкретной системы.

Для КСС функцию устаревания запишем в виде $F_{уст} = \exp\left(-\sqrt{T}\right)$, где T — число календарных месяцев с момента получения значения динамического параметра.

Таким образом, если значение динамического параметра получено в текущем месяце ($T = 0$), функция

устаревания для него $F_{уст} = 1$. Учет снижения значимости для динамических параметров реализуется путем умножения значения веса параметра на величину функции устаревания.

Стоит отметить, что в условиях эксплуатации КСС фактическое известное число параметров системы, как правило, меньше теоретического. Например, в условиях ОГКМ ГИС должны выполняться не реже одного раза в квартал для каждой скважины из состава КСС, но необходимость обеспечения заданного объема добычи газа на месторождении не позволяет проводить данные исследования в полном объеме, так как на время проведения исследований от скважины не поступает продукция. Конструктивные параметры КСС ОГКМ также известны не в полном объеме.

Для квалиметрической оценки информационной энтропии КСС будем использовать формулу, приведенную ранее, с учетом функции устаревания для ее динамических параметров. Таким образом, для КСС с полностью неизвестными параметрами величина информационной энтропии равна «стартовой энтропии», а для КСС с полностью известными параметрами — «0». Величина «стартовой энтропии» зависит от теоретического числа параметров описания системы с учетом весомости данных параметров.

Предлагаемые значения весовых коэффициентов для статических и динамических параметров КСС представлены в табл. 1–2.

Таблица 1

Значения статических параметров

Параметр	Весовой коэффициент
Конструктивные параметры скважин КСС и шлейфа (за исключением его рельефа)	30
Рельеф шлейфа	20

Таблица 2

Значения динамических параметров

Параметр	Весовой коэффициент
Дебиты газа, конденсата, воды и устьевое давление скважины	1
Пластовое давление скважины	10
Забойное давление скважины	3

Для большинства КСС известны конструктивные (статические) параметры скважин и шлейфа за исключением рельефа шлейфа. По этой причине они сгруппированы и представлены двумя параметрами. Величины весов данных параметров объясняются их важностью. Отсутствие знания величин рассмотренных параметров препятствует моделированию КСС, а влияние рельефа учитывается в случаях эксплуатации обводненных скважин. Значения дебита газа, конденсата, воды и устьевого давления скважин получают ежемесячно из одного документа. Поэтому их состояние можно характеризовать одним параметром. В качестве оставшихся динамических параметров для скважин выбраны значения пластовых и забойных давлений. Трудоемкость получения пластового давления выше, чем забойного, что обусловлено геологическими особенностями продуктивных пластов ОГКМ. Для получения пластового давления необходимо дождаться полного восстановления давления в забое скважины, что требует более длительной остановки скважины.

Таким образом, при определении значений весовых коэффициентов учитывалась их значимость при моделировании КСС и трудоемкость их получения.

Произведем квалиметрическую оценку информационной энтропии двух схожих по характеристикам КСС, в состав которых входят по три скважины. Рассмотрим период их эксплуатации, начиная с июня 1988 г. по настоящий момент. В обозначенный период конструкции шлейфов и скважин КСС не подвергались модификациям, то есть система сбора функционировала в установившемся режиме. Задвижки, размещенные на устьях скважин, находились в полностью открытом состоянии в обеих системах сбора продукции. Определим названия для систем сбора: КСС1 и КСС2, для которой отсутствует информация о рельефе шлейфа. Результаты идентификации данных КСС представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты идентификации данных КСС

Информационная энтропия	КСС 1	КСС 2
Без учета статических параметров	0,624 256 556	0,490 918 525
С учетом статических параметров	0,164 869 019	0,711 980 080

Анализ результатов позволяет сделать следующий вывод: КСС2 обладает меньшим значением информационной энтропии без учета статических параметров, что обусловлено регулярными ГИС по всем ее скважинам в конце рассматриваемого периода, но при учете статических параметров значение ее энтропии больше, чем у КСС1, из-за отсутствия информации о рельефе шлейфа скважин. Полученный результат дает возможность ГЛПР оценить уровень информационной энтропии всех рассматриваемых систем, что позволяет реализовать возможность синтеза допустимого порогового значения. Соблюдение допустимого значения энтропии снижает вероятность

принятия некорректных управляющих воздействий, обусловленных расхождениями между реальным и отраженным в эксплуатационной документации состояниями. В качестве порогового значения выбирается средняя величина энтропии для анализируемых систем в определенный момент времени. Пороговое значение энтропии подвергается корректировке со стороны ГЛПР в зависимости от оперативной обстановки на КСС.

Рассмотренный способ идентификации состояния КСС на основе анализа СЭК повышает эффективность принятия управленческих решений за счет автоматизированной оценки полноты знаний о КСС.

Библиографический список

1. Палей, Д. Моделирование квазиструктурированных данных / Д. Палей // Открытые системы. 2002. № 9. С. 57–64.

2. Полищук, Ю. В. Мониторинг информационной энтропии в задачах описания больших технических систем / Ю. В. Полищук // Мехатроника, автоматизация, упр. 2015. № 6. С. 396–401.

3. Полищук, Ю. В. Квалиметрическая идентификация больших и сложных технических систем по сопутствующему эксплуатационному контенту / Ю. В. Полищук // Вестн. компьютер. и информ. технологий. 2014. № 6. С. 34–38.

4. Волков, Н. М. Справочник работника газовой промышленности / Н. М. Волков, А. П. Михеев, К. А. Колев. М. : Недра, 1989. 296 с.

5. Закиров, С. Н. Новые принципы и технологии разработки месторождений нефти и газа / С. Н. Закиров [и др.]. М. : Недра, 2004. 520 с.

6. Ермилов, О. М. Физика пласта, добыча и подземное хранение газа / О. М. Ермилов, В. В. Ремизов, А. И. Ширковский, Л. С. Чугунов. М. : Наука, 1996. 541 с.

Сведения об авторах

Полищук Юрий Владимирович — кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерной безопасности и математического обеспечения информационных систем Оренбургского государственного университета. Youra_Polishuk@bk.ru

Черных Татьяна Александровна — кандидат технических наук, доцент кафедры информатики Оренбургского государственного университета.

Полищук Павел Владимирович — магистрант 1-го курса факультета прикладной биотехнологии и инженерии Оренбургского государственного университета.

Y. V. Polishuk, T. A. Chernyx, P. V. Polishuk

IDENTIFICATION OF STATE COLLECTOR-RAY SYSTEM PRODUCT COLLECTION ORENBURG GAS CONDENSATE FIELD

The way of identifying the status of collector-ray system for the collection of products of the Orenburg gas condensate field, which is qualimetric identify their information entropy based on the analysis of operational content.

ББК У22-86
УДК 643:004

Л. Ф. Розанова, И. А. Лакман, А. Д. Турутина

РАЗВЕДОЧНЫЙ АНАЛИЗ И ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОИМОСТИ ОБЪЕКТОВ ЖИЛОЙ НЕДВИЖИМОСТИ НА РЕГИОНАЛЬНЫХ РЫНКАХ

Рассматривается задача выделения регионов со схожей динамикой развития. Исследуемые объекты представлены данными в пространственно-временном разрезе, то есть в трех измерениях: объекты, характеристики, время. Это не позволяет использовать напрямую классические методы кластерного анализа, поэтому для выявления однородных регионов предлагается сначала временны́е ряды свести к интегральной характеристике, позволяющей дифференцировать регионы во временно́м разрезе, а затем провести их кластеризацию известными методами.

Введение

Рынок жилой недвижимости как объект исследования рассматривается с позиций первичного и вторичного рынков.

Первичный рынок недвижимости — это сделки со вновь созданными объектами, которые впервые проходят государственную регистрацию и включаются в экономический оборот. Сюда относятся приватизированные квартиры и квартиры в новых и строящихся домах.

Вторичный рынок недвижимости — это сделки, связанные с различными формами перехода прав от одного владельца к другому, с объектами недвижимости, уже находящимися в эксплуатации.

Ключевой задачей здесь является оценка и прогнозирование ценовой ситуации на рынке недвижимости, которая характеризуется средними ценами, формирующимися как под влиянием друг на друга первичного и вторичного рынков жилья, так и экономики в целом. Задача заключается в том, чтобы на основе статистических данных построить модели стоимостной оценки для каждого региона с использованием аппарата панельного анализа [1]. Для этого необходимо собрать данные в виде сбалансированной панели, где каждый объект имеет два уровня принадлежности: первый — кросс-селекционное измерение принадлежности к региону РФ, второй уровень — принадлежность к конкретному периоду времени. Несмотря на то что панельный анализ позволяет работать с неоднородными данными, учитывая спецификацию панельных моделей, однако, когда количество объектов велико, может возникнуть проблема получения асимптотических несостоятельных оценок. Чтобы избежать проблемы получения недостоверных оценок панельных моделей, некоторые авторы предлагают перед построением моделей по лонгитюдным данным все же проводить кластеризацию объектов исследования [2]. Такой подход позволит при исследовании российского рынка недвижимости выделить однородные кластеры для дальнейшего построения по ним панельных моделей.

Анализ объекта исследования

Отбор данных для моделирования стоимости объектов жилой недвижимости на региональных рынках базируется на исследованиях:

– центра макроэкономических исследований Сбербанка России 2010 г. [3], описывающих долгосрочные тенденции на первичном и вторичном рынках на основе регрессионных моделей на агрегированном рынке недвижимости и не учитывающих специфику каждого региона;

– ряда авторов, отдающих предпочтение эконометрическим инструментам панельного анализа данных [4–6].

Для исследования собрана информация по 43 регионам за период с 2001 по 2013 г., включающая:

– X_1 — валовой региональный продукт на душу населения;

– X_2 — среднюю стоимость 1 м^2 на первичном рынке жилья;

– X_3 — среднюю стоимость 1 м^2 на вторичном рынке жилья;

– X_4 — среднюю стоимость строительства 1 м^2 жилья.

Собранные данные приведены в сопоставимый вид: все абсолютные показатели переведены в относительные показатели, а данные в денежных единицах приведены к базисному периоду (2001 г.) с помощью цепных индексов потребительских цен по соответствующим регионам Российской Федерации.

Для визуализации исследуемых переменных приведены их графики, построенные в одной координатной плоскости (рис. 1–4).

Анализ графиков показал, что исследуемые регионы разнородны. Это не позволяет использовать для всей совокупности исследуемых регионов аппарат панельного анализа, поэтому необходимо сгруппировать их по однородности, для чего предлагается использовать методы кластерного анализа.

Кластерный анализ пространственно-временных статистических рядов

Кластеризация — разбиение множества объектов на группы (*кластеры*) с учетом свойств этих

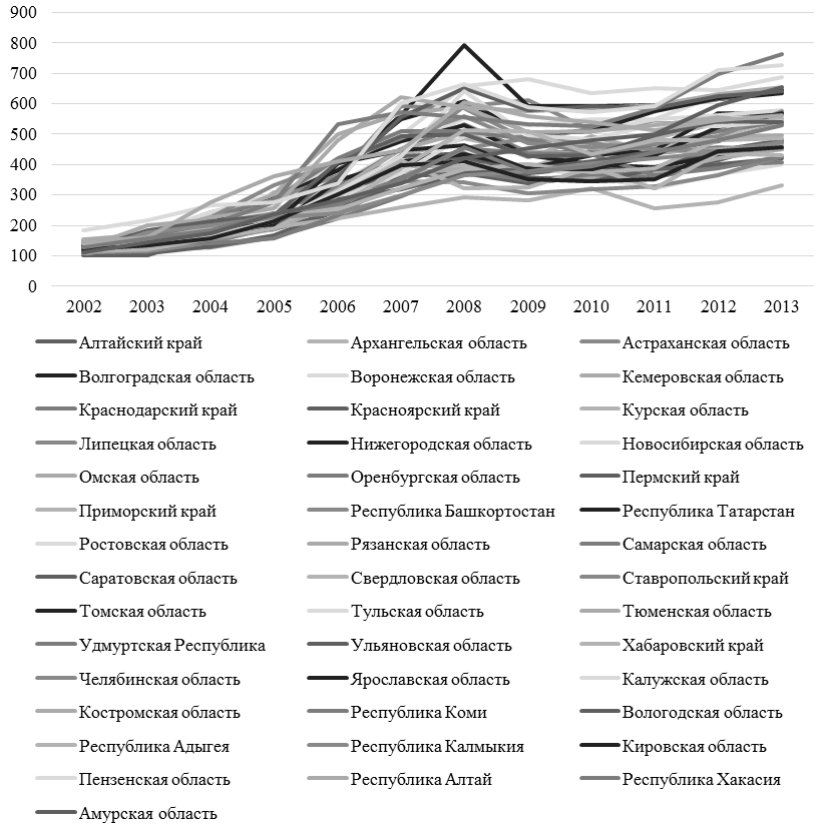


Рис. 1. Динамика цены на первичном рынке жилья по регионам России с 2001 по 2013 г.

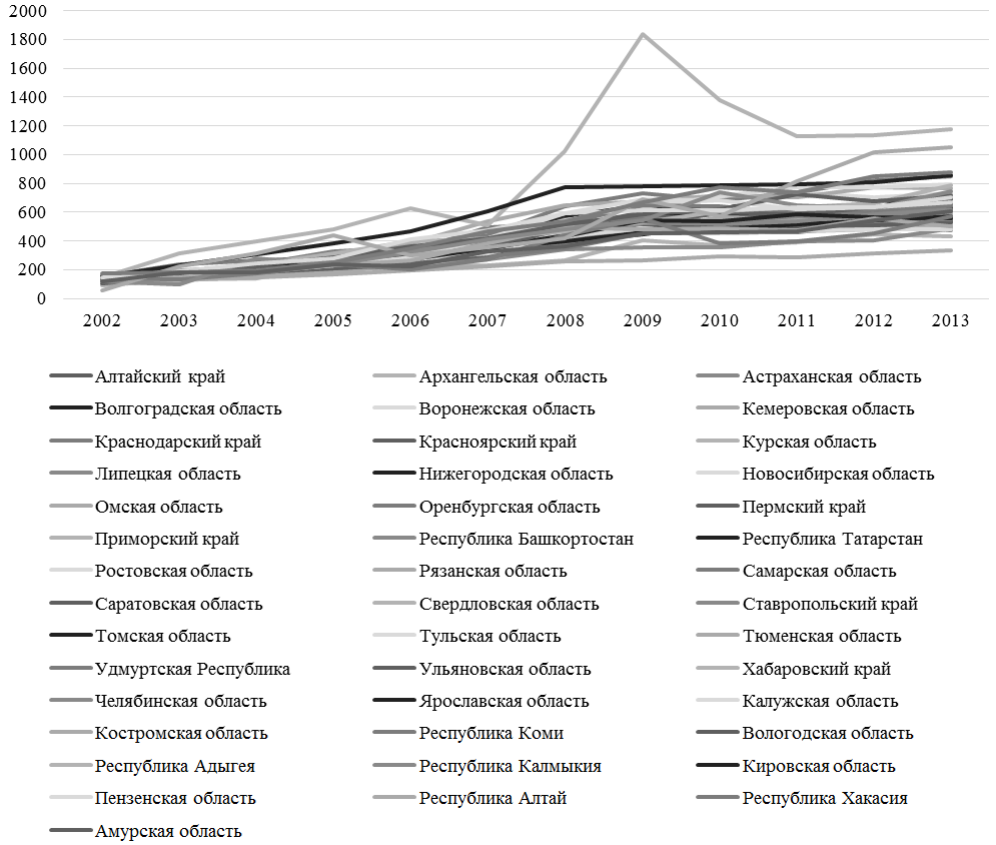


Рис. 2. Динамика стоимости строительства 1 м^2 жилья по регионам 2001 по 2013 г.

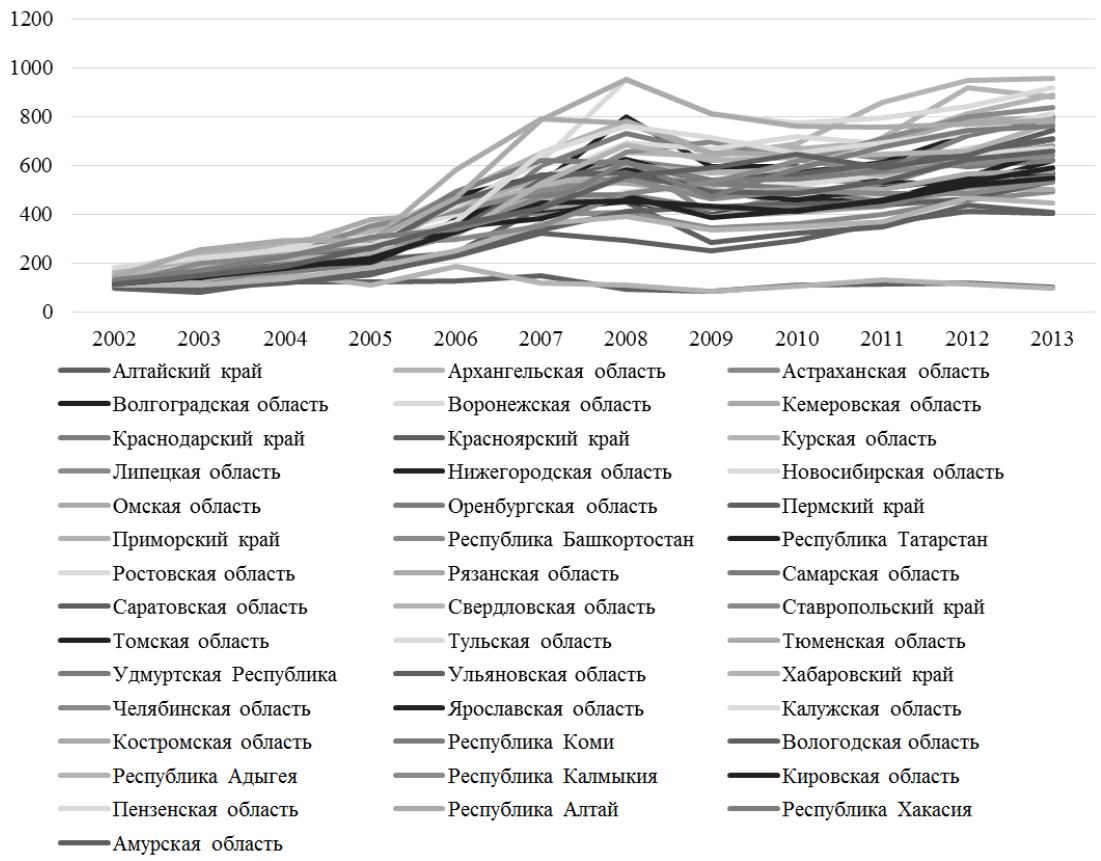


Рис. 3. Динамика цены на вторичном рынке жилья по регионам России с 2001 по 2013 г.

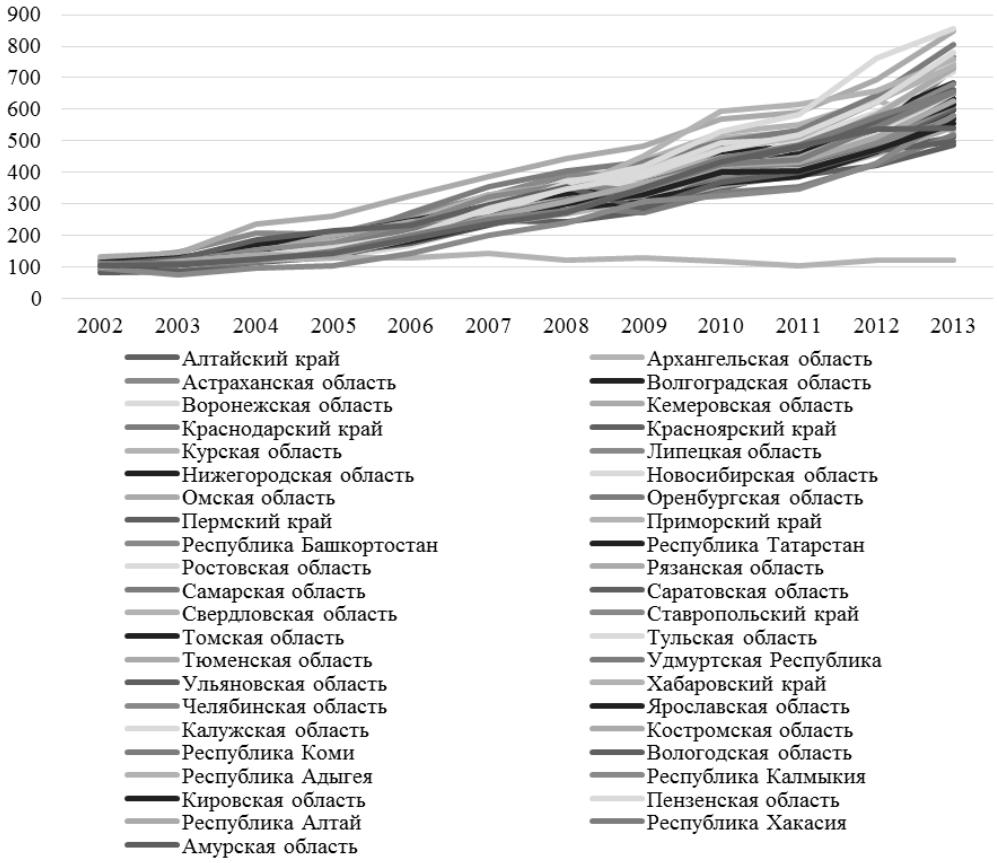


Рис. 4. Динамика валового регионального продукта на душу населения с 2001 по 2013 г.

объектов. Кластер представляет собой группу объектов, имеющих общие признаки. Целью алгоритмов кластеризации является создание классов, которые максимально связаны внутри себя, но отличны друг от друга.

Большинство известных методов кластеризации при наличии пространственно-временных данных являются неэффективными, поэтому исследователи предлагают различные способы кластеризации таких данных:

– в работе [7] показана возможность учета расположения точек в пространстве при выполнении иерархической кластеризации временны́х рядов в ГИС GeoTime3;

– в работе [8] были введены меры ассоциации между временны́ми рядами, основанные на преобразовании скользящих аппроксимаций — САП-трансформ (Moving Approximation Transform, MAP).

В настоящей работе для выявления однородных регионов сначала временны́е ряды сведены к интегральной характеристике, позволяющей дифференцировать регионы во временном разрезе, а затем проведена их кластеризация известными методами.

В качестве интегральной характеристики принят таксономический показатель уровня развития [9; 10]. Основой для построения показателя является стандартизованная матрица наблюдений. Далее все признаки делятся на стимуляторы и дестимуляторы. Основанием такой дифференциации служит характер влияния каждого признака на уровень развития изучаемых объектов. Признаки, оказывающие положительное, стимулирующее влияние на уровень развития объектов, называются стимуляторами в отличие от признаков, которые оказывают тормозящее влияние и поэтому называются дестимуляторами.

Разделение признаков на стимуляторы и дестимуляторы служит основой для построения так называемого эталона развития, который представляет собой точку P_0 с координатами

$$z_{01}, z_{02}, \ldots, z_{0n},$$

где $z_{0s} = min_r z_{rs}$, если $s \in I$;

$$z_{0s} = max_r z_{rs}, \text{если } s \notin I \ (s = 1, ..., n),$$

I — множество стимуляторов; z_{rs} — стандартизованное значение признака s для единицы r.

Расстояние между отдельными точками-единицами и точкой P_0, представляющей эталон развития, обозначается c_{i0} и рассчитывается следующим образом:

$$c_{i0} = \left[\sum_{s=1}^{n} (z_{is} - z_{0s})^2 \right]^{1/2} \begin{pmatrix} i = \\ 1, \ldots, w \end{pmatrix}.$$

Полученные расстояния служат исходными величинами, используемыми при расчете показателя уровня развития:

$$d_i^* = \frac{c_{i0}}{c_0},$$

Результаты кластеризации регионов

1-й кластер	2-й кластер	3-й кластер	4-й кластер	5-й кластер
Астраханская область	Алтайский край	Кемеровская область	Воронежская область	Республика Адыгея
Волгоградская область	Архангельская область	Нижегородская область	Краснодарский край	
Липецкая область	Красноярский край	Омская область	Курская область	
Томская область	Новосибирская область	Оренбургская область	Ростовская область	
Тульская область	Пермский край	Приморский край	Калужская область	
Тюменская область	Республика Башкортостан	Республика Татарстан	Пензенская область	
Ульяновская область	Рязанская область	Самарская область	Республика Алтай	
Костромская область	Саратовская область	Ставропольский край		
Республика Коми	Свердловская область	Удмуртская Республика		
Амурская область	Ярославская область	Хабаровский край		
		Челябинская область		
		Вологодская область		
		Республика Калмыкия		
		Кировская область		
		Республика Хакасия		

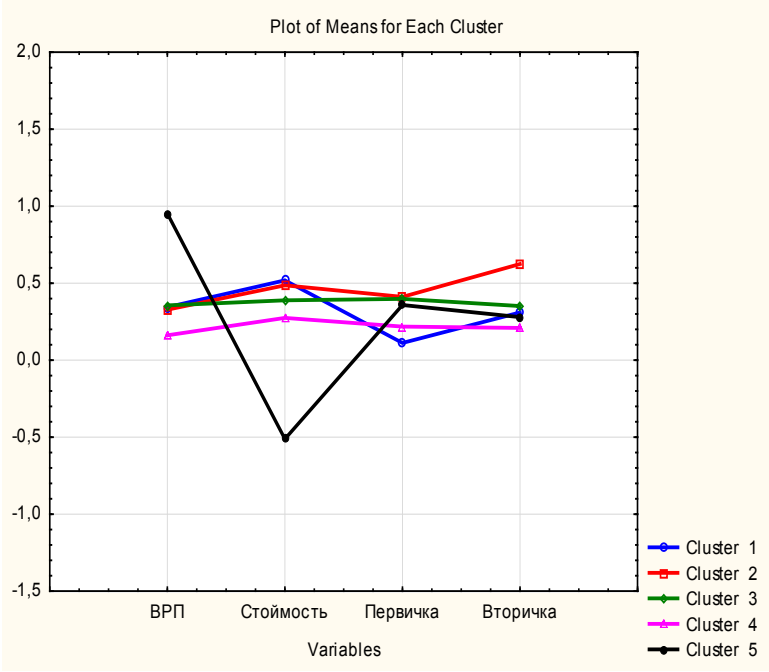


Рис. 5. График средних значений исследуемых переменных в каждом из полученных кластеров

где $c_0 = \bar{c}_0 + 2S_0$,

$$\bar{c}_0 = \frac{1}{w}\sum_{i=1}^{w} c_{i0},$$

$$S_0 = \left[\frac{1}{w}\sum_{i=1}^{w}\left(c_{i0} - \bar{c}_0\right)^2\right]^{1/2}.$$

Показатель уровня развития d_i^* характеризуется тем, что является величиной положительной и лишь с вероятностью, близкой к нулю, может оказаться больше единицы.

Приведённый показатель служит статической характеристикой множества объектов и позволяет получить однородные кластеры. Каждый кластер характеризуется определенной величиной средних значений исследуемого признака.

В результате кластеризации регионов Российской Федерации получено 5 однородных групп, приведенных в таблице.

Анализ средних (рис. 5) по каждому измерению показывает, что выбранная интегральная характеристика хорошо дискриминирует кластеры.

Заключение

Применяя для полученных классов регрессионное моделирование на панельных данных [2], можно получить адекватные модели стоимости объектов жилой недвижимости для каждого региона, учитывая особенности развития каждой территории.

Библиографический список

1. Максименко, З. В. Моделирование макроэкономического равновесия и динамики : учеб. пособие / З. В. Максименко, Л. Ф. Розанова. Уфа, 2008. 81 с.

2. Лакман, И. А. Панельное моделирование объема выпуска продукции для регионов России / И. А. Лакман, Р. Х. Бахитова, Г. А. Ахметшина // Упр. большими системами. 2014. Вып. 50. С. 99–109.

3. Обзор центра макроэкономических исследований Сбербанка России, Сентябрь 2010. Рынок жилья: выход из кризиса. URL: http://www.sberbankru/common/img/uploaded/files/pdf/press_center/Review_september_2010_home.pdf

4. Мингазова, Л. М. Исследование механизмов ценообразования объектов жилья вторичного пользования на региональном рынке недвижимости / Л. М. Мингазова, Л. Г. Латыпова // Экономика и менеджмент систем упр. 2013. № 3. С. 199–205.

5. Мингазова, Л. М. Оценка развития регионального рынка недвижимости на основе панельного анализа / Л. М. Мингазова, Л. Г. Латыпова // Упр. экон. системами. 2013. № 54. URL: http://uecs.ru/ instrumentalnii-metody-ekonomiki/item/2197–2013–06–18–06–14–00

6. Мингазова, Л. М. Модель массовой оценки жилья на региональном рынке недвижимости / Л. М. Мингазова // Обозрение приклад. и пром. математики. 2013. Т. 20, вып. 4. С. 562.

7. Лихачев, В. Метод кластеризации пространственно-временных последовательностей спутниковой РСА-интерферометрии [Электронный ресурс] / В. Лихачев // Информацинные технологии и системы – 2011 : 34-я конф. молодых ученых и специалистов ИППИ РАН, 2–7 окт. 2011г. URL: itas2011.iitp.ru/pdf/1569460147.pdf

8. Батыршин, И. З. Преобразование скользящих аппроксимаций и ассоциативные сети в сравнитель-

ном анализе статистических рядов динамики [Электронный ресурс] / И. З. Батыршин, Л. Б. Шереметов, А. М. Панова, А. С. Климова // Исслед. по информатике. 2007. Вып. 11. С. 35–48. URL: http://www.mathnet.ru/rus/agreement

9. Плюта, В. Сравнительный многомерный анализ в экономических исследованиях: методы таксономии и факторного анализа / В. Плюта. М. : Статистика, 1980. 151 с.

10. Розанова, Л. Ф. Механизмы управления конкурентоспособностью малых предприятий на основе соревновательной системы стимулирования / Л. Ф. Розанова, Ж. Б. Розанова, З. В. Максименко // Вестн. Уфим. гос. авиац. техн. ун-та. 2011. Т. 15, № 5 (45). С. 222–226.

Сведения об авторе

Розанова Лариса Федоровна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. rozanova_lara@mail.ru

Лакман Ирина Александровна — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. lackmania@mail.ru

Турутина Анастасия Денисовна — магистрант 1-го курса Уфимского государственного авиационного технического университета. nastena.turutina@mail.ru

---

L. F. Rozanova, I. A. Luckman, A. D. Turutina

EXPLORATORY ANALYSIS AND PREPARATION OF DATA FOR MODELING VALUE RESIDENTIAL PROPERTIES IN REGIONAL MARKETS

The article deals with the problem of separating regions with similar dynamics of development. Test objects represented by data in the spatiotemporal context, that is in three dimensions: the objects, characteristics, time. It is not possible to use directly the classical methods of cluster analysis, therefore to identify homogeneous regions of the time series offered first to be reduced to the integral characteristics to differentiate regions in the temporary section, and then hold them clustering known methods.

ББК Ч448.025
УДК 378.02

С. А. Скрипов

ПРИМЕНЕНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Рассмотрены вопросы создания облачной инфраструктуры для образовательных целей. Описаны требования к таким системам. Предложены подходы к проектированию. Приведен пример реализации.

В настоящее время образовательный процесс для специальностей и направлений, связанных с информационными технологиями, требует применения большого числа программных и аппаратных средств. Выпускник высшего учебного заведения должен владеть навыками работы с десятками прикладных программных систем, популярными операционными системами, многокомпонентными программными комплексами. Таким образом, перед организаторами учебного процесса встает задача предоставления группам студентов либо каждому студенту пространства для хранения учебных файлов, доступа к учебным сервисам, доступа к индивидуальным учебным серверам. Для решения таких задач предлагается использовать облачные решения, имеющие модель IaaS [1; 5].

Для облачных решений, предназначенных для образовательного процесса, были выделены обязательные требования:

1. Высокая производительность. Несколько десятков пользователей могут использовать такую систему одновременно. При проектировании необходимо обеспечить отсутствие узких мест и возможность управления размещением виртуальных машин.

2. Оптимальное использование ресурсов. Специфика подобных систем предполагает, что предоставленные сервисы будут использоваться эпизодически, во время проведения аудиторных занятий, контрольных и самостоятельных работ. Таким образом, бóльшую часть времени предоставленный сервис не будет потреблять ресурсы системы, такие как память и процессорное время. В такие периоды ресурсы должны быть освобождены для тех сервисов, которые реально используются.

3. Управление пользователями. Каждый пользователь должен иметь учетную запись, позволяющую получить доступ к предоставленным сервисам через Интернет. Идеальным вариантом будет возможность доступа через браузер, что исключит необходимость установки дополнительных программ-клиентов. Система должна поддерживать квоты и разграничение доступа. Помимо квот на использование памяти и процессорного времени необходимо наличие квоты на скорость обмена с дисковой подсистемой.

4. Возможность использования всех популярных операционных систем.

5. Возможность массового развертывания виртуальных машин «по шаблону». Для учебного процесса часто возникает необходимость развертывания большого количества виртуальных машин с предустановленным программным обеспечением и определенными настройками.

Виртуальные машины в таких системах обычно создаются на достаточно небольшой период. Чаще всего это отдельный учебный семестр, в некоторых случаях более короткий срок — несколько дней или недель. С учетом всей перечисленной специфики применения подобных систем можно говорить об отсутствии необходимости выполнения особых требований отказоустойчивости. Достаточно будет базовых мер, таких как RAID-массивы для защиты данных на жестких дисках.

При проектировании облачных систем обычно используют централизованное хранилище [4]. При такой организации есть возможность реализовать кластер высокой доступности, при отказе одного из хостов виртуальная машина может быть автоматически воссоздана на соседнем хосте. Однако в случае разрабатываемой системы централизованное хранилище будет «узким местом», практически не позволяющим обеспечить масштабируемость облака. Поэтому предлагается использовать концептуальную модель с распределенным хранилищем (рис. 1). Здесь каждый хост имеет непосредственно подключенное хранилище, что обеспечивает максимально возможную скорость обмена. Однако при необходимости любое хранилище может быть подключено к любому хосту по сети.

При проектировании сети также необходимо учитывать специфику использования облака. Для решения поставленной задачи необходимо использовать виртуальный коммутатор с поддержкой VLAN, тегирования трафика и тесной интеграцией с облаком. Для поддержки сетевой инфраструктуры предлагается использовать виртуальную машину, реализующую функции маршрутизатора, брандмауэра, DHCP-сервера (рис. 2). Такое решение позволит в дальнейшем масштабировать систему, добавляя новые хосты.

Для реализации облака были выбраны компоненты с открытым исходным кодом. В качестве гипервизора использовался модуль kvm. Отличительными особенностями данного гипервизора являются возможность использования memory overcommit, cpu overcommit, а также поддержка различных гостевых операционных систем. Для реализации виртуально-

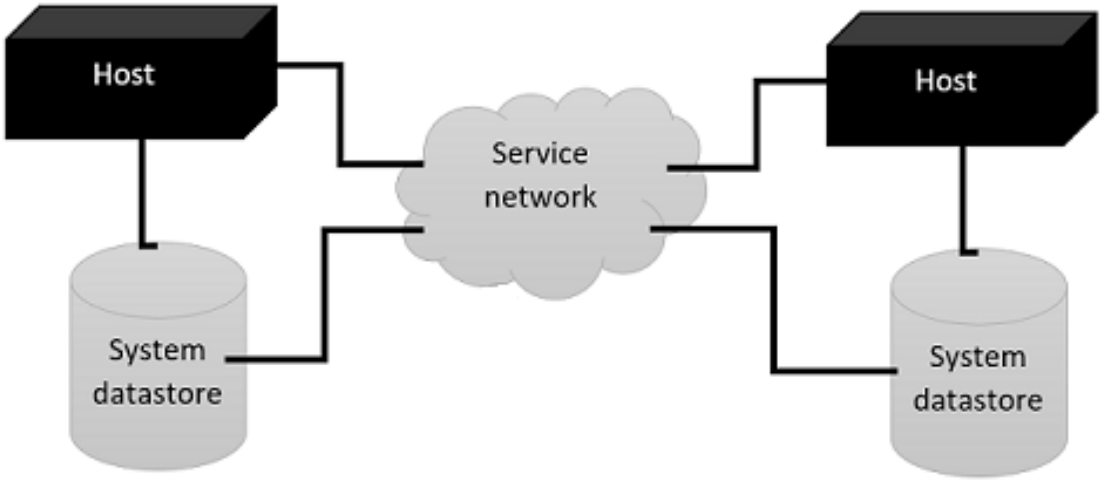


Рис. 1. Концептуальная модель хранилища

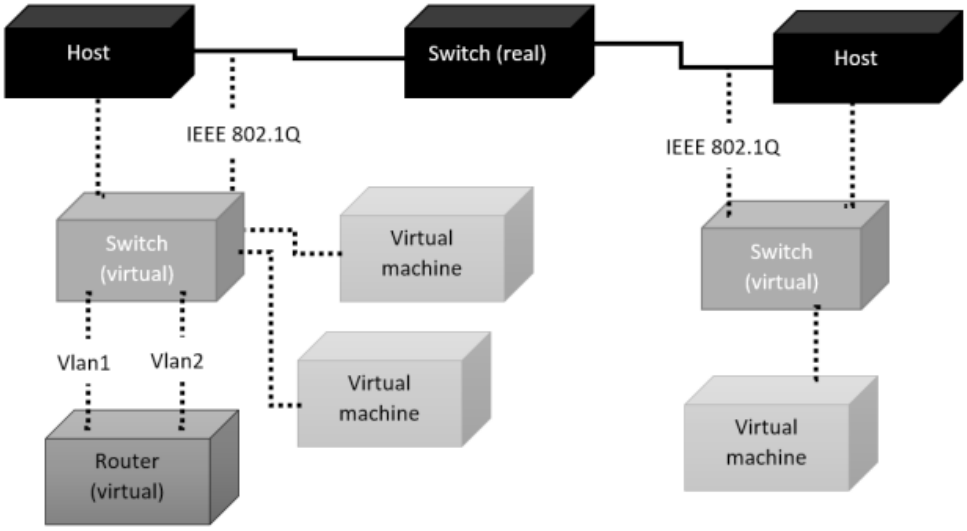


Рис. 2. Концептуальная модель сети

го коммутатора был выбран продукт Open vSwitch [2]. Он поддерживает все типичные функции коммутатора, а также обладает дополнительным полезным функционалом. В качестве системы управления облаком выбрана система OpenNebula [3]. Данная система тесно интегрирована с выбранными компонентами и позволяет управлять всеми параметрами размещения виртуальных машин из одного места. Так, при создании виртуальной машины можно гибко настраивать размещение ее на хранилищах, запуск на хостах, назначение номера VLAN ее интерфейсам. Выбор размещения может происходить автоматически, на основе заранее заданных правил, либо вручную. Поддерживаются квоты и гибкое назначение прав пользователям. Для управления виртуальными машинами, в том числе для работы с консолью, в большинстве случаев не нужно ничего кроме браузера.

Таким образом в данной статье рассмотрены вопросы проектирования и реализации облака IaaS для образовательных целей. Выделены ключевые требования, особенности и ограничения, характерные для подобных систем. Представлены концептуальные модели хранилища и сети. Выбраны компоненты с открытым исходным кодом для практической реализации учебной облачной системы.

Библиографический список

1. A break in the clouds: towards a cloud definition / L. M. Vaquero, L. Rodero-Merino, J. Caceres, M. Lindner // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. 2009. Vol. 39, is. 1. C. 50–55.

2. Open vSwitch Configuration Cookbook [Электронный ресурс]. URL: http://openvswitch.org/support/config-cookbooks

3. OpenNebula Design and Installation Guide [Электронный ресурс]. URL: http://docs.opennebula.org/4.14/design_and_installation
4. OpenStack High Availability Guide [Электронный ресурс]. URL: http://docs.openstack.org/ha-guide
5. Сейдаметова, З. С. Облачные сервисы в образовании / З. С. Сейдаметова, С. Н. Сейтвелиева // Информ. технологии в образовании. 2011. № 9.

Сведения об авторе

Скрипов Сергей Александрович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информационных технологий и экономической информатики Челябинского государственного университета. skripov@csu.ru

---

S. A. Skripov

CLOUD TECHNOLOGIES FOR EDUCATIONAL PURPOSES

The article discusses the creation of the cloud solution for educational purposes. Describes the requirements for such systems, approaches to design, an example of implementation.

ББК У262.1с51
УДК 336.7:004

З. А. Фельк

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В БАНКОВСКОЙ СФЕРЕ

Рассматриваются возможности использования банками облачных технологий для переноса бизнес-процессов в целях сокращения издержек, основные методы предоставления облачных сервисов. Обозначены проблемы и перспективы перехода банками на облачные технологии.

Основным трендом в банковской отрасли в целом является сокращение расходов. От IT-направления ожидается поиск способов экономии, позволяющих, с одной стороны, снизить затраты, а с другой — создать дополнительное преимущество для клиентов банка [1]. Эксперты оценивают сложившуюся ситуацию как катализатор смены модели развития — сдвиг от in-house-решений к облачным сервисам по все большему числу направлений.

Спектр IT-задач в банке расширяется за счет роста востребованности дистанционных каналов взаимодействия, активно развивается интернет-банкинг на основе облачных решений, омниканальность [3].

То, что уже распространено во всем мире, в том числе в банковской сфере, пока весьма медленно развивается в нашей стране. Пионером и лидером по использованию облачных технологий является государство, а не частный сектор. В банках, которые традиционно наиболее консервативны и зарегулированы, облачных решений пока мало, хотя огромные выгоды от их внедрения очевидны уже сейчас. Участники рынка предполагают разные домыслы относительно перспектив данной технологии: встречаются как восторженные отзывы и прогнозы динамичного роста, так и откровенно негативные оценки.

Вопросы безопасности и требования регулятора (Банка России) на данный момент являются ключевым ограничением перевода в облако, позволяющими использовать облачные технологии преимущественно для вспомогательных, не критических для работы банка сервисах, которые не содержат персональных данных [3].

Тем не менее в сфере финансовых услуг продолжает увеличиваться объем использования решений на базе облачных вычислений. По мнению экспертов Gartner Group, в период 2015–2017 гг. большинство IT-приложений переместятся в облака. Доля облачных услуг в 2016 г. на российском рынке IT-сервисов должна составить 13 %, а по прогнозам аналитической компании IDC, среднегодовой рост российского рынка облачных услуг в 2015–2017 гг. превысит 40 %. По результатам исследований аналитиков Orange Business Services, доход российского рынка облачных услуг может увеличиться с 4,5 до 19 млрд р. (2012–2016 г.). При этом к 2016 г. доля облачной инфраструктуры должна достичь 13% от всего российского рынка IT-сервисов. Одновременно с этим рынок услуг по созданию облачной инфраструктуры способен еще принести доход в размере 20 млрд р. Это станет вероятным в результате стремительного роста объема услуг по созданию облачной инфраструктуры.

Эксперты выделяют несколько преимуществ и возможностей, возникающих при переводе задачи в облачный формат, снижающих затраты:

– гибкость в определении объема инфраструктуры, масштабируемость — необходимые мощности могут быть быстро увеличены и быстро сокращены. Облачная технология позволяет пользоваться арендованными мощностями, облегчает адаптацию под колебания рыночных условий. Исключается необходимость существенных стартовых вложений на закупку оборудования и его сопровождения даже при снижении потребностей;

– возможность повысить скорость, более оперативно провести тестирование, быстро получить необходимые мощности, сервисы и пр. Подключение к уже готовому продукту (ускорение соответствует всем уровням — инфраструктуре, платформе, приложению) позволяет решить задачу более оперативно, что также снижает затраты на внедрение;

– возможность получить более высокое качество сервиса при сопоставимых или меньших затратах, особенно на сервисах с неравномерной загрузкой;

– снижение нагрузки на IT-подразделение в банке и как следствие, затрта не персонал [3].

На сегодняшний день существует три основных метода предоставления облачных сервисов:

1. ***Infrastructure as a Service*** (инфраструктура как сервис, Iaas). Сервис предоставляет «пустой» виртуальный сервер с уникальным IP-адресом или совокупностью интернет-адресов и часть системы хранилища информации.

2. ***Software as a Service*** (программное обеспечение как сервис). Концепция SaaS обеспечивает возможность пользоваться программным приложением как услугой удаленно через Интернет.

3. ***Platform as a Service*** (платформа как сервис, PaaS). В данном сервисе пользователю предоставля-

ется в распоряжение виртуальная платформа, состоящая из одного или нескольких виртуальных серверов с установленными заранее операционными системами и специализированными приложениями [2].

Наиболее востребованным в нашей стране является тип услуг IaaS, годовой рост которых составляет около 40 %. Использование современных технологий позволяет значительно ускорить многие бизнес-процессы. Например, в традиционной модели использования только собственного железа на любое нововведение нужно время — сначала требуется согласовать закупку сервера, затем дождаться доставки (зачастую из-за границы), затем установить оборудование, настроить его и только затем переходить к развертыванию приложений.

В случае IaaS достаточно пары кликов мышкой, чтобы развернуть систему, на начало работы с которой раньше нужно было потратить пару месяцев.

Такой спрос обусловливается тем, что большинство клиентов, в том числе и кредитные организации, желают самостоятельно администрировать собственные системы, что, является характерной чертой российского рынка. В настоящее время рынок IaaS представляют одиннадцать компаний: ActiveCloud, Clodo, Cloud One, «КРОК», Parking.ru (Группа Inoventica), Selectel, «Ай-Теко», «Оверсан», «Скалакси», Cloud4Y, Dataline. К наиболее крупным поставщикам Iaas относятся «КРОК», «Ай-Теко», ActiveCloud.

Чуть более половины опрошенных национальным агентством финансовых исследований банков (55 %) считают себя хорошо информированными относительно облачных сервисов (в группе ТОП-10 — 74 %), еще 37 % выбрали ответ «что-то слышал». Осведомленность об отдельных уровнях облачных сервисов чуть ниже — хорошо информированными о SaaS себя считают 43 %, PaaS — 34 %, IaaS — 30 %. Только 28 % опрошенных указали, что хорошо знают все три модели обслуживания. Для большинства опрошенных представителей банков характерен существенный «перекос» в восприятии облачных технологий: более половины (54 %) выражают уверенность, что облака — это публичные сервисы (почта, хранилище данных и пр.), а не бизнес-приложения (32 %, еще 14 % — платформы).

Следующей по значимости услугой в области облачных технологий является программное обеспечение SaaS, что, согласно прогнозам аналитиков, представляет ежегодный прирост в 50 %, и в последующем будет только расти в объеме. Более 90 % всего российского рынка SaaS-услуг охватывают пять крупных компаний — СКБ «Контур» (63 %), «БарсГрупп» (10 %), «Манго-Телеком» (10 %), «Корус Консалтинг СНГ» (eSphere) (5 %) и Softline (4 %).

Последней по значимости услугой в области облачных технологий является PaaS. Данная услуга менее востребована на российском рынке по сравнению с IaaS и SaaS. Согласно различным анализам, объем каждого из рынков PaaS и BPaaS в 2012 г. составлял примерно 100 млн р. К 2017 г. объем рынка PaaS повысится до 700 млн р.

Согласно сведениям аналитиков Information Week большое число банков в мире активно использует облачные сервисы при ведении своего бизнеса, такие как «Хранение данных», «Центры обработки данных», «Бизнес-приложения», «Тестирование программного обеспечения». Самым востребованным сервисом в настоящее время является «Тестирование программного обеспечения».

Базовым трендом большинство экспертов считает перевод в частные облака (особенно на основе собственных центров обработки данных) информации, не содержащей банковской тайны, персональных данных и пр.

Доля облачных услуг на российском IT-рынке сервисов не так велика. Высокие требования к защищенности информации ограничивают банковских специалистов в применении облачных технологий.

В то же время эксперты выражают уверенность, что рост интереса к облачным технологиям дело скорее среднесрочной перспективы из-за проблемы доверия, гарантий надежности и конфиденциальности информации, особенностям законодательного регулирования отрасли. Эксперты прогнозируют разное отношение к облачным технологиям в зависимости от их важности для банка — ключевые услуги вряд ли будут быстро переводиться в облако, в то время как дополнительные сервисы вполне могут быть реализованы в облачном формате.

Согласно результатам проведенного исследования аналитиков Symantec, из всего числа отечественных банков, практически 75 % респондентов рассматривают допустимость использования облачных технологий. Однако бóльшая часть респондентов все же уклоняется от практического применения облачных технологий. По результатам проведенного опроса, ожидания 43 % опрошенных, которые решились на применение облачных сервисов ради резкого повышения гибкости IT-инфраструктуры, не оправдались. Также не оправдались надежды на повышение эффективности IT-систем у 48 % опрошенных. Ожидания снижения операционных расходов и повышения уровня безопасности не оправдались у 46 и 35 % опрошенных соответственно.

Более радужные перспективы, по мнению экспертов, имеют неперсонализированные облачные сервисы, так как они исключают проблему риска утечки личных данных клиентов при передаче базы в облако.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что проблема использования облачных технологий заключается в дисбалансе между ожиданиями банковских структур и реальными возможностями этих технологий.

Использование банками облачных технологий для передачи отчетности в Банк России возможно,

по мнению экспертов, только при появлении законодательной инициативы со стороны регулятора. Представители банков видят в таком обязательстве значительные расходы, которые потребуются для дополнительной интеграции внутренних данных, приведении их к единому стандарту. Возможность получать от Банка России с использованием облачных технологий агрегированную информацию по отрасли, позволяющую, анализировать конкурентную ситуацию, воспринимается положительно при уточнении необходимых затрат и состава измеряемых показателей.

В заключение, исходя из результатов проведенного анализа, можно предположить, что в ближайшие годы в качестве облачных технологий в российских банках будут развиваться IaaS-модели, обеспечивающие необходимую инфраструктуру банку. Перспективы развития в финансовых институтах SaaS- и PaaS-моделей представляются маловероятными в силу специфики банковского программного обеспечения. Также стоит отметить, что предпочтение будет отдаваться частным облакам, так как они способны обеспечить необходимый уровень информационной безопасности за счет размещения и хранения всей информации во внутренней сети организации и самостоятельного управления сервера персоналом этого банка. В свою очередь, использование и развитие гибридных облаков имеет свои перспективы, которые связаны с возможностью вынесения второстепенных операций в публичные облака.

Библиографический список

1. Асланов, Ш. С. Облачные технологии в банковской сфере [Электронный ресурс] / Ш. С. Асланов, С. А. Шавшина // XXXII Научное сообщество студентов XXI столетия : студен. междунар. науч.-практ. конф. 2015. URL: http://sibac.info/18243
2. Батаев, А. В. Тенденции и перспективы развития рынка информационных технологий в банковском секторе России / А. В. Батаев // Молодой ученый. 2013. № 10. С. 268–271.
3. Восприятие облачных технологий в российских банках [Электронный ресурс] : отчет по результатам исслед. / Нац. агентство финансовых исслед. М., 2015. URL: http://nacfin.ru/cloud2015

Сведения об авторе

Фельк Зинаида Александровна — кандидат технических наук, доцент кафедры банковского дела Южно-Уральского государственного университета (национального исследовательского университета), Челябинск. fza@inbox.ru

---

Z. A. Felk

PROSPECTS FOR THE USE OF CLOUD TECHNOLOGIES IN THE BANKING SECTOR

The paper it devoted to the possibilities of using the banks of cloud technologies for transferring business processes to reduce costs, the main methods of cloud services. The problems and prospects for the banks transition to cloud technology.

ББК У301-21
УДК 33:004

К. Б. Чендулаева, Ж. Б. Розанова, А. М. Яфаева

ИНТЕГРАЦИЯ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ С IT-ИНФРАСТРУКТУРОЙ ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассматривается IT-инфраструктура производственного предприятия. Показаны место задачи оптимального планирования производственной программы в условиях неопределенности и риска в производственной IT-инфраструктуре. Формализована содержательная постановка стохастической модели планирования производственной программы.

Введение

Планирование работы предприятия — это оценка будущего состояния с позиций текущего момента времени, поэтому необходимо учитывать ряд случайных факторов, которые существенно влияют на процесс производства. Для получения более точной и достоверной оценки будущих процессов на предприятии, снижения риска принятия ошибочных решений необходимо проанализировать круг взаимосвязанных процессов планирования, производства и сбыта продукции, чтобы устранить влияние случайных факторов.

Особенно это важно для компаний с непрерывным циклом производства, например, в нефтепереработке, что обусловлено сложностью технологического процесса и частыми изменениями производственной обстановки под действием внешних и внутренних факторов (спрос, сбои в поставках сырьевых ресурсов, в работе технологических установок и т. д.). Это влечет непредусмотренные изменения объема и качества продуктов, получаемых на определенной стадии переработки. Существующие коммерческие программные продукты, среди которых PIMS, RPMS и другие, используемые в производстве, осуществляют планирование производственной программы в основном с заранее заданными определенными условиями реализации производственных процессов, то есть в процессе планирования не учитывается случайный характер спроса и производственных параметров, что представляет для специалистов по планированию определенную трудность. Это выражается в том, что необходимо моделировать различные ситуации, надеясь на квалификацию экспертов, или имитировать множество возможных ситуаций специальными методами имитационного моделирования. Поэтому разработка новых моделей и встраивание их в существующие на предприятиях информационные системы является актуальной задачей.

IT-инфраструктура компании

Для повышения конкурентоспособности и производительности современных предприятий необходимо использовать средства автоматизации, как на всех этапах планирования, так и при организации производства.

IT-инфраструктура предприятия представлена различными системами, тесно связанными с задачами планирования производственных программ предприятия. Их классификация представлена на рис. 1.

Элементами IT-инфраструктуры предприятия является ERP-системы, MES-системы и APS-системы.

ERP-система (Enterprise Resource Planning, планирование ресурсов предприятия) — это корпоративная система эффективного планирования и управления всеми ресурсами предприятия [1].

MES-система (Manufacturing Execution System) — это информационная и коммуникационная система производственной среды предприятия. Место, занимаемое MES-системой в комплексном управлении предприятием, находится между системой управления и автоматизации технологических процессов и системой управления и планирования работой предприятия ERP [2].

MES-систему можно позиционировать как систему оперативного управления производством, предназначенную для решения производственных задач в следующих областях: мониторинг технологических цепочек производства, учет и управление выпуском продукции, обработка и верификация результатов измерений, сведение балансов, учет и управление перемещениями материальных потоков и некоторые другие [2].

APS-системы (Advanced Planningand Scheduling) оптимального планирования и составления расписаний находятся на грани между MES и ERP — решают задачи составления оптимизированных программ от нескольких дней до месяца, квартала, года [3].

Относительно систем класса ERP, APS служит надстройкой, которая расширяет и заменяет их функциональность в части планирования. При этом APS пользуется информацией, содержащейся в транзакционной части ERP. Это может быть история продаж, информация о фактических заказах клиентов, остатках товаров на складах. В качестве источника информации о состоянии запущенных производственных заказов и мощностей могут выступать MES-системы (Manufacturing Execution Systems — системы оперативного контроля за производственным процессом). По завершении процесса планирования APS-система

Рис. 1. Классификация информационных систем

передает соответствующие результаты, такие как заказы на производство, закупку и перемещение, прогнозы и т.д., в ERP- систему) [3].

Примером APS-системы, с помощью которой решаются такие задачи, является система RPMS (Refinery and Petrochemical Modeling System). Системы класса RPMS являются наиболее глубокими по своим возможностям моделирования технологических особенностей предприятий нефтепереработки и нефтехимии и их экономического окружения. Подобные системы широко используются во всем мире. Пользователями систем класса RPMS являются в настоящее время все известные нефтяные и инжиниринговые компании мира [4]. Поэтому повышение эффективности использования систем подобного класса является актуальной задачей на сегодняшний день [Там же].

Система RPMS, основываясь на технологии завода и ограничениях, заложенных в программу, находит «оптимальное решение». Включая некоторые элементы прогнозирования, данная система тем не менее ориентирована на анализ эффективности производственной деятельности предприятия.

В связи с этим расширение системы включением в нее модели стохастического программирования для оценки будущих процессов на основе исторических данных позволит снизить риск недостижения запланированных результатов производственных процессов.

Содержательная постановка задачи планирования производственной программы

Решение задач оптимального планирования позволяет согласовывать объёмы поставляемого на предприятие сырья с возможностями технологических установок и объемами выпускаемой продукции. В таких задачах обычно используются объёмные показатели (условные тонны, кубометры, рубли) и период планирования предполагается достаточно большим (год, квартал, месяц).

При решении подобных задач должна присутствовать достаточная степень идеализации, необходимо рассматривать лишь те параметры, которые оказывают основное влияние на функционирование производственной системы. Предполагается, что другие параметры будут учитываться при решении задачи оперативного управления. Для таких задач существуют следующие критерии эффективности: максимизация суммарного дохода, минимизация суммарных затрат на производство продукции, максимизация суммарной прибыли, полученной предприятием в планируемом периоде.

Постановка задачи планирования производственной программы для предприятий и структура решения приведена на рис. 2, 3. Поставленная задача требует разработки модели формирования оптимальной производственной программы. При условиях неопределенности и риска это позволит смоделировать разные варианты производства и согласовать объемы поставляемого сырья с возможностями предприятия и объемом выпускаемой продукции. Для решения данной задачи разработана и использована матема-

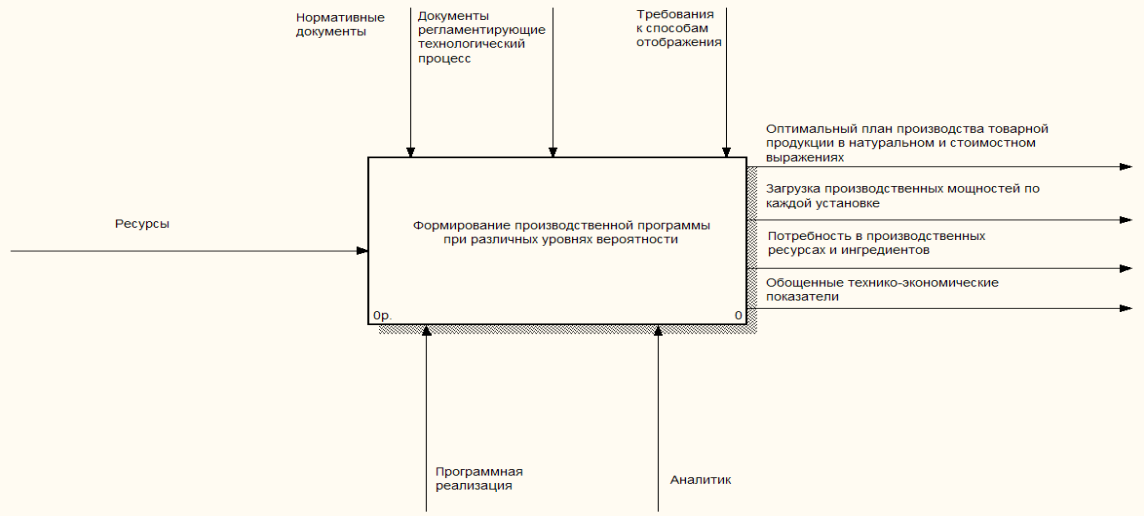


Рис. 2. Формальная постановка задачи формирования производственной программы предприятия

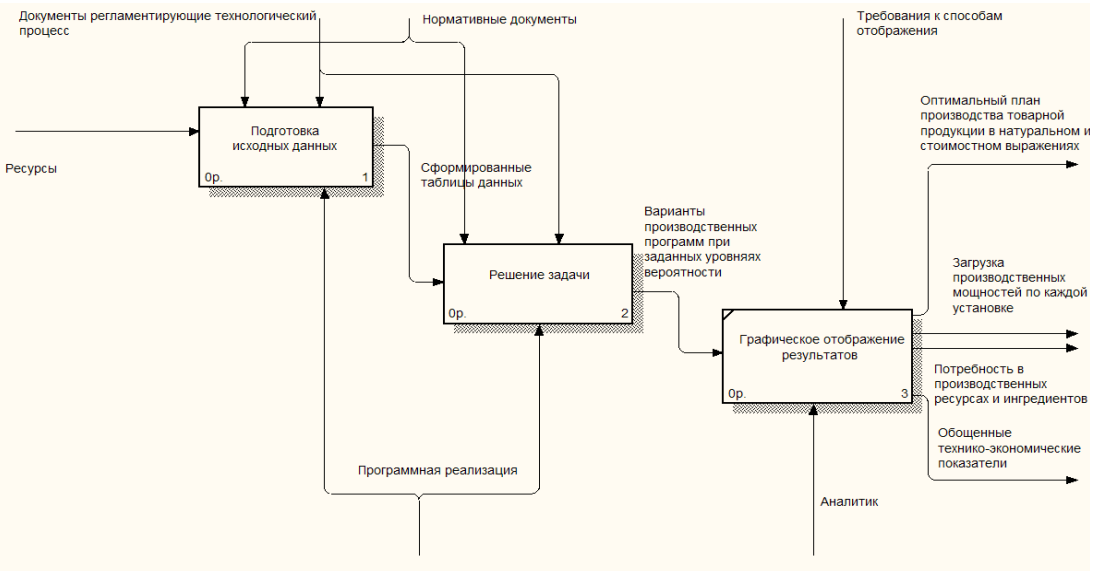


Рис. 3. Структура решения задачи формирования производственной программы предприятия

тическая модель стохастического программирования [5; 7].

Задача формирования производственной программы в терминах стохастического программирования представляет собой задачу, в которой требуется найти объемы производства, максимизирующие математическое ожидания прибыли при условии, что израсходованный ресурс не превысит имеющийся с некоторой заданной вероятностью. Кроме основного ограничения вводятся дополнительные ограничения по материальному балансу и мощности промышленных установок, отражающие технологический процесс производства [6; 7].

Практическая реализация модели на реальных данных показала, что учет случайного характера величин, входящих в модель задачи, существенно влияет на результаты решения, и расширение APS-системы включением в нее предложенной модели позволит снизить риск недостижения запланированных результатов производственных процессов.

Заключение

IT-инфраструктура предприятия представляет собой сложный комплекс различных систем. Они тесно связаны между собой и решают комплекс задач планирования и управления производственным процессом.

Интеграция существующих на предприятии информационных технологий и новых моделей планирования и управления, в частности, разработанной модели планирования производственной программы с учетом рисковых ситуаций, возникающих под воздействием неопределенности внешней и внутренней сред, позволит повысить надежность принимаемых планов.

Библиографический список

1. ERP-системы. 2015 [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/index.php

2. MES-системы: функции и преимущества. 2013 [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/ index.php

3. APS-системы. 2012 [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/ index.php

4. Сметанина, О. Н. Анализ IT-инфраструктуры предприятия для разработки оптимальной производственной программы / О. Н. Сметанина, Л. Ф. Розанова, Ж. Б. Розанова, К. Б. Чендулаева // Intelligent Technologies for Information Processing and Management (ITIPM'2015). Ufa, 2015. Vol. 1. P. 79–84.

5. Розанова, Л. Ф. Механизм учета случайных факторов при объемном планировании в производственных системах / Л. Ф. Розанова, З. В. Максименко, К. Б. Чендулаева // Информационные технологии и системы : тр. Третьей Междунар. науч. конф. / отв. ред. : Ю. С. Попков, А. В. Мельников. Челябинск, 2014. С. 174–175.

6. Григорчук, Т. И. Стратегия учета инвестиционных рисков на нефтеперерабатывающих производствах / Т. И. Григорчук, Л. Ф. Розанова, З. В. Максименко, К. Б. Чендулаева // Нефтегазовое дело. 2014. № 6. С. 545–561.

7. Розанова, Л. Ф. Стохастическое программирование в задачах планирования на предприятиях с непрерывным процессом производства [Электронный ресурс] / Л. Ф. Розанова, Ж. Б. Розанова, К. Б. Чендулаева // Упр. экон. системами. 2014. № 4 (64). URL: http:// www.uecs.ru/ indexphp?otion=com_flexicontent&view=items&id=2844:2014-04-09-06-53-46

Сведения об авторах

Чендулаева Ксения Борисовна — аспирант 1-го года обучения кафедры вычислительной математики и кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. chendulaeva@mail.ru

Розанова Жанна Борисовна — кандидат экономических наук, доцент кафедры управления в социальных и экономических системах Уфимского государственного авиационного технического университета. zhanylik@mail.ru

Яфаева Алина Маратовна — магистрант 2-го года обучения Уфимского государственного авиационного технического университета. alinayafaeva@gmail.com

---

K. B. Chendulaeva, J. B. Rozanova, A. M. Yafaeva

INTEGRATION OF STOCHASTIC MODELS FOR THE PLANNING OF THE PRODUCTION PROGRAM WITH THE IT-INFRASTRUCTURE OF THE COMPANY

The article examines the IT-infrastructure of a production company. It shows the location of the optimal planning of the production program in the conditions of uncertainty and risk in a production environment. Meaningful stochastic production planning models production program also formalized in the article.

ББК С822
УДК 004.83

Г. Р. Шахмаметова

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ

Рассмотрен подход к предупреждению/ликвидации возникающих кризисных ситуаций на уровне исследования систем, на основе которого сложные системы рассматриваются как системы-объекты и системы-процессы. Предложена схема процесса принятия решения для предотвращения/преодоления кризисных ситуаций в подобных системах.

1. Введение

Основой успешного функционирования сложной системы является принятие решений, адекватных условиям, в которых она функционирует. Реальные условия, как правило, характеризуются воздействием внешней среды, а процесс управления сопровождается помехами, порождающими неопределенность, что может привести к кризису управления. Для обозначения кризисных явлений в разных системах (экономических, организационно-технических, социальных, технических и др.) используется различная терминология. 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 в них общее с позиций антикризисного управления — необходимость специальной управленческой деятельности для обеспечения эффективности и безопасности функционирования объекта управления и системы в целом. Кризис управления сложным объектом в неопределенных условиях, кризис принятия решений влекут за собой необходимость использования антикризисного подхода и интеллектуальных информационных технологий. В данной работе рассмотрены вопросы исследования сложных систем как объектов антикризисного управления.

При исследовании сложных систем автор придерживается методологии, разработанной Д. А. Новиковым [2–5], а также системного подхода к анализу сложных систем [1], согласно которым: 1) сложная система представляется как множество взаимосвязанных элементов, образующих единое целое; 2) сложную систему в зависимости от ее характеристик следует рассматривать как систему-объект либо систему-процесс.

2. Сложная система как объект

Сложная система S как объект есть (рис. 1):

$$S_u = <\Phi, H, Str, P, Q, Z_{функ}, D>,$$

где $\Phi = \{\Phi_i\}$ — множество объектов (элементов, подсистем);

$H = \{H_j\}$ — множество связей между ними;

Str — структура системы;

$P = \{P_k\}$ — множество параметров и характеристик элементов системы;

$Q = \{Q_n\}$ — множество свойств системы;

$Z_{функ}$ — цель функционирования системы;

$D = \{D_T, D_{Inf}, D_{MT}, D_E\}$ — множество ресурсов (временны́х D_T, информационных D_{Inf}, материально-технических D_{MT}, энергетических D_E), необходимых для функционирования системы.

Такое представление сложной системы отражает как строение, свойства системы, характеристики

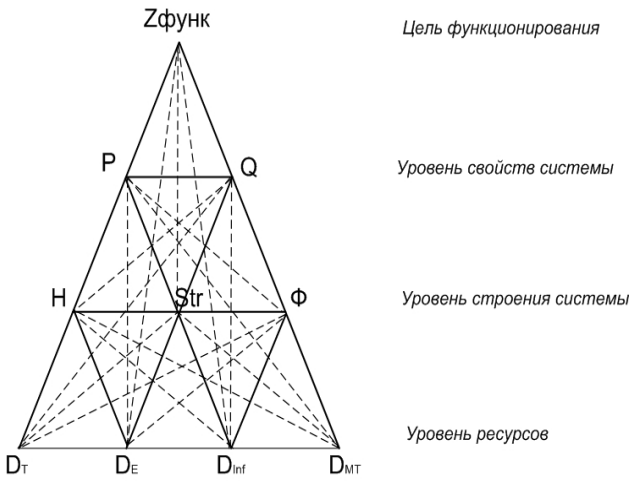


Рис. 1. Сложная система в виде иерархической структуры

отдельных ее элементов и связей и цель функционирования, так и необходимые ресурсы для функционирования системы (временны́е, энергетические, информационные, материально-технические).

Предкризисная/кризисная (критическая, предаварийная) ситуация *Sit* возникает, когда выходит из строя один или несколько следующих элементов системы *S*:

– характеристики $\{P_k\}$ базовых элементов $\{\Phi_i\}$ выходят за рамки допустимых пределов либо происходит отказ базовых элементов;

– нарушаются связи $\{H_j\}$ системы и их значения;

– разрушается структура *Str* системы;

– изменяются (теряются) жизненно-важные свойства $\{Q_n\}$ системы.

Сложная система *S* как объект антикризисного управления есть:

$$S_u = <\Phi, H, Str, P, Q, Z_{функ}, D, U, Y, \Omega, X, \Gamma, T_{ПУ}, Q_{КС}, Z_{упр}>,$$

где $U = \{U_c\}$ — множество входных управляющих воздействий/факторов;

$Y = \{Y_z\}$ — множество выходов системы;

$\Omega = \{\Omega_v\}$ — множество допустимых входных факторов;

$X = \{X_n\}$ — множество состояний;

$\Gamma = \{\Gamma_k\}$ — множество допустимых выходов;

$T_{ПУ} = \{T_{ПЛ}, T_М, T_У, T_A, T_{TC}\}$ — средства планирования и управления в предкризисной и кризисной ситуациях (технологии планирования $T_{ПЛ}$, модели T_M, технологии управления $T_У$, алгоритмы управления T_A, технические средства T_{TC}) ;

$Q_{ПКС} = \{h, \eta, Stb, Str, N_{ПД}, N_{ХД}\}$ — свойства системы в предкризисной и кризисной ситуациях (*h* — функция перехода из одного состояния в другое, η — функция наблюдения);

Stb — стабильность и робастность системы;

Str(x) — структура системы;

$N_{КД}$ — наличие колебательных движений;

$N_{ХД}$ — отсутствие хаотических движений;

$Z_{упр}$ — цель антикризисного управления.

Элементы $\{T_{ПУ}\}$, $\{D_v\}$, $\{U_c\}$ относятся к управляющим элементам и необходимы для формирования и реализации управляющего решения. Нарушение их работы ведет к кризису в управляющей системе (кризису управления).

Для описания процесса управления сложной системой, как в нормальных, так и в предкризисных/кризисных ситуациях, представим сложную систему в виде следующей укрупненной иерархии (рис. 2), где *УС* — уровень состояний, включающий $\Omega = \{\Omega_v\}$, $X = \{X_n\}$, $\Gamma = \{\Gamma_k\}$;

ВВ — входы и выходы системы, включает $U = \{U_c\}$, $Y = \{Y_z\}$;

D — ресурсы, необходимые для функционирования системы $D = \{D_T, D_{Inf}, D_{MT}, D_E\}$;

$T_{ПУ}$ — средства планирования и управления $T_{ПУ} = \{T_{ПЛ}, T_М, T_У, T_A, T_{TC}\}$;

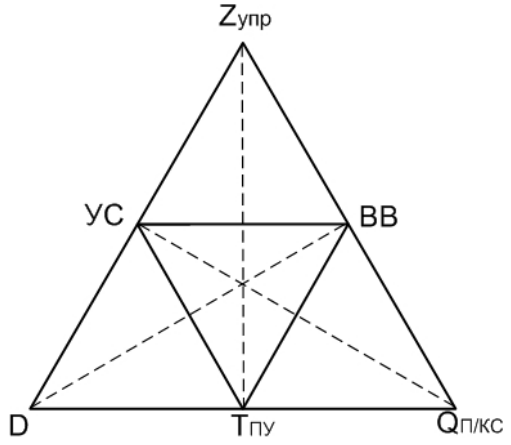


Рис. 2. Верхний уровень иерархии представления сложной системы

$Q_{П/КС}$ — свойства системы в предкризисной и кризисной ситуациях:

1) предкризисная ситуация: $Q_{ПС} = \{h, \eta, Stb, Str, K_Д, N_{РД}\}$;

2) кризисная ситуация: $Q_{КС} = \{N_h, N_\eta, N_{stb}, N_{str}, П_Д, X_Д\}$.

3. Сложная система как процесс

Сложную систему *S* как процесс можно представить в виде

$$S = < K, T, U, A, D, T_{ex}, Inf, F, Q, Z_{упр}>,$$

где $K = \{K_j(t)\}$ — множество параметров системы;

$T = \{t_i\}$ — множество моментов времени;

$U = \{U_c(t)\}$ — множество управляющих воздействий (управляющих факторов, управляющих органов и др.);

$A = \{A_m(t)\}$ — множество алгоритмов управления, обработки информации и др.;

$D = \{D_T(t), D_{Inf}(t), D_{MT}(t), D_E(t)\}$ — множество ресурсов (временны́х $D_T(t)$, информационных $D_{Inf}(t)$, материально-технических $D_{MT}(t)$, энергетических $D_E(t)$), необходимых для функционирования системы.

$T_{ex} = \{T_{ex\ p}(t)\}$ — множество технологий управления;

Inf — информация (о состоянии процесса, необходимая для управления и др.);

$F = \{F_k(t)\}$ — множество случайных возмущений;

$Q = \{Q_n(t)\}$ — множество свойств системы;

$Z_{упр}$ — цель управления системой-процессом, в нормальной ситуации состоит в поддержании множества параметров в гомеостатических пределах (область E_0, рис. 3). Предкризисная (критическая, предаварийная) ситуация возникает, когда один или несколько жизненно важных параметров системы $K = \{K_i(t)\}$ выходят из пределов нормальной ситуации, но находятся в области предкризисной (допустимой) ситуации (область $E_{ПК}$, рис. 3). Кризисная ситуация *Sit* возникает, когда один или несколько

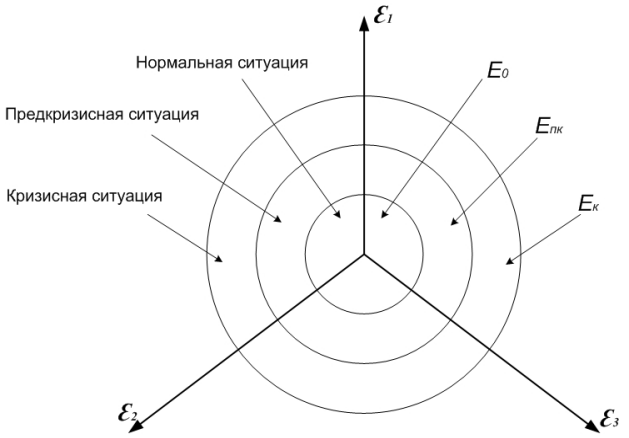


Рис. 3. Классификация ситуаций

жизненно важных параметров системы $K = \{K_i(t)\}$ выходят из пределов предкризисной ситуации (область E_K, рис. 3).

В зависимости от величин $\mathcal{E}_i = K_{oi} - K_i$, можно говорить о нормальной, предкризисной или кризисной ситуациях. Возможные ситуации:

1) $\mathcal{E}_i \in E_0$ — нормальная ситуация, все жизненно-важные показатели $K = \{K_i(t)\}$ находятся в пределах нормальных значений;

2) $\mathcal{E}_i \in E_{пк}$ — предкризисная ситуация, жизненно важные показатели $K = \{K_i(t)\}$ приближены к границам допустимых, предкризисных значений;

3) $\mathcal{E}_i \in E_к$ — кризисная ситуация, жизненно важные показатели $K = \{K_i(t)\}$ вышли за границы допустимых значений.

4. Процесс принятия решений в сложных системах

Неопределенность обстановки в предкризисной и кризисной ситуациях и малые резервы времени обусловливают необходимость информационной поддержки принятия решений (ППР), предназначенной для лиц, принимающих решения (ЛПР). При этом, как правило, отсутствуют строго формализованные математические модели сложных систем, которые позволили бы однозначно определить механизм управления. Выходом из подобных ситуаций может служить применение интеллектуальных технологий. Цель поддержки принятия решений на основе интеллектуальных технологий — обеспечение на основе имеющихся знаний и опыта эксперта эффективного управления объектом в условиях кризисной и предкризисной ситуации.

Процесс принятия решений для предотвращения/преодоления кризисной ситуации можно описать следующей последовательностью шагов (рис. 4). Система S выдает информацию о состоянии системы. В зависимости от того, в каком виде рассматривается система (как система-объект либо как система-процесс), проводится анализ состояния элементов системы S ($\Phi = \{\Phi_i\}$, $H = \{H_j\}$, Str , $P = \{P_k\}$, $Q = \{Q_n\}$, $Z_{функ}$) либо анализ жизненно важных показателей $K = \{K_j(t)\}$. На основе проведенного анализа и интеллектуальной поддержки принятия решений ситуация Sit определяется как нормальная, предкризисная или кризисная. На основе этого формируется либо корректируется цель управления $Z_{упр}$, в зависимости от которой осуществляется выбор технологий управле-

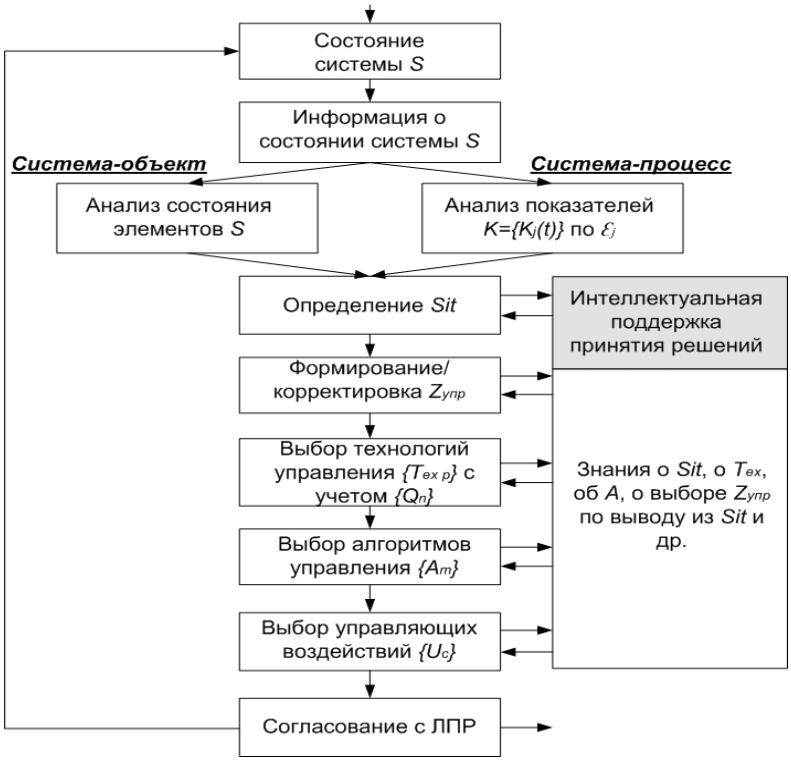


Рис. 4. Процесс принятия решений

ния $T_{ex} = \{T_{ex\,p}\}$ с учетом свойств системы $\{Q_n\}$. Затем при помощи интеллектуальной поддержки принятия решений выбираются алгоритмы управления и обработки информации $\{A_m\}$ и управляющие воздействия $\{U_c\}$. Результаты согласовываются с лицом, принимающим решения (*ЛПР*), и осуществляется корректирующее воздействие на состояние системы *S*.

База знаний интеллектуальной поддержки принятия решений содержит знания о классификации ситуаций *Sit*, о технологиях управления T_{ex}, об алгоритмах управления $\{A_m\}$, о выборе цели управления $Z_{упр}$ по выходу из предкризисной или кризисной ситуации, о том, какие классы, виды $\{F_k(t)\}$ приводят систему *S* к предкризисному состоянию, какие виды управляющих воздействий *U* вводят систему в нормальное состояние, выводят из кризиса.

Особенности объектов управления в сложных системах, для которых целесообразно использовать антикризисный подход: наличие кризисных, чрезвычайных, критических, аварийных ситуаций, для предотвращения которых необходима предварительная проработка вариантов управленческих решений для обеспечения безопасности функционирования объекта с учетом специфических критериев (предотвращение тяжелых последствий, учет факторов риска и др.), а также особенности обработки информации, необходимой для принятия решений в условиях возможности возникновения кризисных ситуаций. С учетом этих особенностей можно выделить следующие классы сложных систем, которые характеризуются указанными свойствами: организационно-технические системы и сложные технические объекты, которые можно рассматривать как системы-объекты, экономические объекты, которые можно рассматривать как системы-процессы.

5. Заключение

Рассмотрен подход к предупреждению/ликвидации возникающих кризисных ситуаций на уровне исследования систем, на основе которого сложные системы рассматриваются как системы-объекты и системы-процессы. Предложена схема процесса принятия решения для предотвращения/преодоления кризисных ситуаций в подобных системах.

Библиографический список

1. Гузаиров, М. Б. Системный подход к анализу сложных систем и процессов на основе триад / М. Б. Гузаиров, Б. Г. Ильясов, И. Б. Герасимова // Проблемы упр. 2007. № 5. С. 32–38.
2. Новиков, А. М. Методология : учеб.-метод. пособие / А. М. Новиков, Д. А. Новиков. М. : Синтег, 2007. 660 с.
3. Новиков, Д. А. Методология управления / Д. А. Новиков. М. : Либроком, 2012. 128 с.
4. Новиков, А. М. Методология научного исследования / А. М. Новиков, Д. А. Новиков. 2-е изд. М. : Либроком, 2013. 272 с.
5. Новиков, А. М. Методология : слов. системы основ. понятий / А. М. Новиков, Д. А. Новиков. М. : Либроком, 2013. 208 с.

Сведения об авторе

Шахмаметова Гюзель Радиковна — доктор технических наук, профессор Уфимского государственного авиационного технического университета. shakhgouzel@mail.ru

---

G. R. Shakhmametova

ABOUT SOME QUESTIONS OF DECISION MAKING FOR CONTROL IN COMPLEX SYSTEMS

The approach to prevention/elimination of the crisis situations at the level of systems research on the basis of which complex systems are considered as system-objects and system-processes is considered in the article. The scheme of decision-making process for prevention/overcoming of crisis situations in similar systems is offered.

ББК У311-37
УДК 69:004.4

А. Ф. Шориков, Д. Р. Султанахметов

ВЫЯВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ТРЕБОВАНИЙ РЫНКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ПРОЕКТАМИ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 15-18-10014)

Рассматриваются основные программные продукты для управления строительными проектами, приводится их сравнительная характеристика, выявляются слабые стороны в их функциональности и реализации для разработки новых оптимизационных алгоритмов в данной сфере.

Ведение строительного бизнеса в современных условиях требует организации эффективного управления и рационального использования ресурсов как необходимых условий повышения эффективности работы предприятий строительства, а также создания, развития и реализации их конкурентных преимуществ. Руководители данных предприятий заинтересованы в оптимизации управления строительными проектами и развитии их конкурентоспособных возможностей.

Для строительных предприятий важно правильно планировать и управлять бизнес-процессами, поскольку именно они обеспечивают эффективную операционную деятельность компаний.

В наши дни строительные проекты становятся все более сложными и длительными, большинство таких проектов реализуются по 2–3 года, а иногда и дольше. В выполнении проектов задействованы десятки, сотни, а в крупных проектах до нескольких тысяч строителей, средства на воплощение многих проектов составляют десятки и сотни миллиардов рублей. Для оптимизации управления строительными проектами создаются программные продукты, которые делают процессы управления строительными проектами более эффективными.

Следует отметить, что эффективное управление строительными проектами зависит не только от программного продукта, но и от профессионализма сотрудников, занимающихся такими проектами.

В данной работе исследуются следующие основные задачи:

– изучение существующих программных систем управления строительными проектами как комплексов методических, технических средств, направленных на повышение эффективности процессов планирования и управления;

– сравнительный анализ программных продуктов для управления проектами разных разработчиков, как отечественных, так и зарубежных

Работа выполнена на основе исследований [1–9].

Особенности реализации строительных проектов

Организационная составляющая строительного процесса — это взаимосвязанная система начальной подготовки для выполнения отдельных видов работ, установления и обеспечения общего порядка, очередности и сроков выполнения процессов строительства, поставки всех видов ресурсов для обеспечения эффективности и качества выполнения отдельных видов работ и строительства объектов.

Организация строительного процесса обеспечивает целенаправленность организационных, технических и технологических работ, направленных на достижение конечного результата — сдачу в эксплуатацию объекта в установленные сроки и с требуемым качеством. На каждом строительном объекте процесс строительства происходит только на основе организационно-технологических документов, включающих в себя разработанные решения по организации строительства и технологии производства работ, которые, в свою очередь, должны быть отображены в проекте строительства и проекте производства работ.

Проект строительства (ПС) включает в себя:

1. Календарный план строительства, в котором определены сроки и очередность строительства:

1.1) основных и вспомогательных зданий и сооружений;

1.2) технологических узлов;

1.3) пусковых и градостроительных комплексов, где распределены капитальные вложения и пообъектные объемы строительно-монтажных работ.

2. Генеральные планы строительства для подготовительного и основного периодов выполнения работ, включающие:

2.1) размещение постоянных зданий и сооружений;

2.2) размещение вре́менных, в том числе мобильных зданий и сооружений;

2.3) размещение постоянных и вре́менных железных и автодорог и иных путей для транспортировки строительных материалов и оборудования;

2.4) размещение конструкций, материалов и изделий;

2.5) размещение путей для кранов большой грузоподъемности;

2.6) инженерные сети;

2.7) места подключений вре́менных инженерных коммуникаций к действующим сетям с указанием источников обеспечения строительной площадки;

2.8) источники поставок электроэнергии, воды, тепла;

2.9) размещение складских площадок;

2.10) схемы установок основных монтажных кранов и других машин строймеханизации;

2.11) схемы размещения механизированных установок и др.

3. Организационно-технологические схемы, оптимизирующие последовательность возведения зданий и сооружений с указанием последовательностей выполнения работ.

4. Ведомости с объемами основных строительно-монтажных и специальных строительных работ.

5. Ведомости с указанием потребности в строительных конструкциях, изделиях, материалах и оборудовании.

6. Графики потребностей в строительных машинах (основных) и транспортных средствах.

7. Графики потребностей в трудовых ресурсах с разбивкой по специальностям и квалификации.

8. Пояснительная записка к ПС.

В зависимости от сложности проекта содержание может меняться с учетом сложности и специфики проекта.

В состав проекта производства (ПП) работ включаются:

1) календарные планы по выполнению работ на объектах или комплексный сетевой график, в котором устанавливается последовательность и срок выполнения работ при максимально возможных их совмещениях;

2) генеральный план строительства с указанием границ строительной площадки и видов ее ограждений;

3) действующие и вре́менные подземные, надземные и воздушные сети и коммуникации;

4) постоянные и вре́менные дороги;

5) схемы движения транспортных средств и механизмов;

6) места установки грузоподъемных и машин строймеханизации, путей их перемещения и зоны действия;

7) места размещения постоянных, строящихся и вре́менных зданий и сооружений, мест расположения знаков геодезической основы, опасных зон, путей и средств подъема, работающих на рабочие ярусы (этажи);

8) указание проходов в здания и сооружения, размещения источников и средств энергообеспечения и освещения строительной площадки, расположения заземляющих контуров;

9) места расположения устройств, для удаления строительного мусора, площадок и помещений складирования материалов и конструкций, площадок укрупнительной сборки конструкций, расположения помещений для санитарно-бытового обслуживания строителей, питьевых установок и мест отдыха, а также зон выполнения работ повышенной опасности;

10) технологические карты (схемы) на выполнение отдельных видов работ с включением схем операционного контроля качества, описанием методов производства работ, указанием трудозатрат и потребности в материалах, машинах, оборудовании, приспособлениях и средствах защиты работающих, а также последовательности демонтажных работ при реконструкции зданий и сооружений;

11) решения по производству геодезических работ, включая схемы размещения знаков для выполнения геодезических построений и измерений, а также указания технических средств геодезического контроля выполнения строительно-монтажных работ;

12) решения по технике безопасности;

13) решения по прокладке вре́менных сетей водо-, тепло- и энергоснабжения и освещения (в том числе аварийного) строительных площадок и рабочих мест с разработкой, при необходимости, рабочих чертежей подводящих сетей от источников питания;

14) перечни технологического инвентаря и монтажного оборудования;

15) пояснительная записка к ПП.

Если рассматривать проекты строительства в целом, то можно выделить ряд ключевых этапов, которые требуют оптимизации и в которых использование программных комплексов целесообразно, а именно:

1) разработка различного рода календарных графиков (график производства, график использования ресурсов, графики финансов, как в целом так и по выполнению отдельных работ);

2) планирование ресурсного обеспечения (исполнители работ, материалы);

3) расчет и планирование различных вариантов реализации строительного проекта с целью оптимизации использования ресурсов как человеческих, так и финансовых.

Например, расчет наиболее «экономичного» варианта реализации проекта за счет оптимизации стоимостных характеристик проекта при реализации проекта в разные сроки.

Программные комплексы для управления различными проектами являются инструментом оптимизации времени его выполнения, стоимости и трудозатрат при его реализации и включают в себя выполнение следующих функций:

– календарно-сетевое и ресурсное планирование для реализации проекта, включая отчетность об исполнении работ;

– управление содержанием проекта (изменениями);

– управление рисками;

– управление стоимостью;

– управление взаимодействием (коммуникациями), включая управление проблемами и поддержку

групповой работы с проектными документами и отчетными материалами.

Преимущества использования программных систем управления проектами при реализации строительных проектов заключаются в том, что программные продукты позволяют хранить в своей модели проекта плановые показатели по проекту (сроки и стоимость выполнения работ, объемы необходимых ресурсов и др.) и вводить фактические данные по ходу реализации проекта. В случае каких-либо отклонений при реализации проекта программная система анализирует эти отклонения и при необходимости может перепланировать оставшуюся часть проекта с учетом новых данных и оперативно внести изменения в планы реализации проекта. Различные компании внедряют программные системы управления проектами с целью повышения производительности труда, снижения затрат ресурсов при реализации проектов (времени, трудовых, финансовых и др.), а также с целью решения задач прогнозирования будущих состояний проектов.

Программное обеспечение процессов строительства

Если рассмотреть развитие программных систем управления, начиная с 1990-х гг., то сначала это были локальные компьютерные приложения, затем клиент-серверные продукты, а в последнее время наблюдаются тенденции в сторону развития облачных продуктов и услуг. Чтобы подробно понять и сравнить множество программных продуктов, предлагаемых различными разработчиками, перечислим основные структурные элементы, которые должна иметь система управления проектами.

1. *Структура работ проекта.*

Структура работ проекта — это описание этапов и работ проекта согласно их иерархичности, взаимосвязей между работами, ориентировочной продолжительности выполнения работ. По этим параметрам программная система в автоматизированном режиме рассчитывает календарный график проекта, определяет сроки начала и завершения отдельных работ и всего проекта в целом.

2. *Структура ресурсов проекта.*

Структура ресурсов проекта — это данные о трудозатратах, оборудовании, материалах и средствах.

3. *Матрицы назначения ресурсов на все работы проекта*.

В виде соответствующих матриц описываются основные параметры работ, входящих в проект: стоимость, производительность, количество необходимых ресурсов. Матрица назначений содержит сведения о том, какие ресурсы, какого типа и каким образом используются по каждой работе проекта. Система хранит данные о том, в каких ресурсах, с какими свойствами и в каком количестве нуждается каждая работа проекта.

После формирования данных о необходимых ресурсах по этапам и работам конкретного проекта программный продукт автоматически производит расчет календарного плана с учетом заданных ограничений.

На данный момент на российском, а также мировом рынке есть множество программных продуктов, которые позволяют как мелким, так и крупным предприятиям вести сопровождение и управление реализацией проектов, которые различаются функциональными возможностями и качеством работы. В российской строительной среде, да и в целом на крупных предприятиях, когда говорят о системах управления проектами, то, как правило, подразумевают крупные программные продукты, такие как MS Project, Open Plan, Oracle Primavera, Spider Project. По данным Gartner (Garther — исследовательская и консалтинговая компания, специализирующаяся на рынке информационных технологий и услуг), в течение последних лет лидирующие позиции занимает программное обеспечение от Primavera, крупнейшего независимого поставщика комплексных решений для управления проектами, ресурсами и портфелями проектов. Также очень широкое распространение в крупных компаниях получил хорошо себя зарекомендовавший продукт MS Project.

Российские компании также присутствуют на рынке производства программного обеспечения для управления проектами. В числе подобных решений — Spider Project, которое отличается мощными алгоритмами планирования при использовании ограниченных ресурсов и большим количеством дополнительных функций. К сожалению, стоимость программных комплексов от ведущих зарубежных разработчиков достаточно велика. Например, Microsoft Project только для клиентской части на одного пользователя стоит более 1 100 долл., а простая конфигурация с серверной частью стоит более 14 000 долл., и это только стоимость лицензий на использование данного продукта.

Рассмотрим основные программные системы управления проектами. Для начала обратим внимание на основные программные продукты в целом, а затем сравним их, чтобы понять, чего же не хватает данным продуктам и в каком направлении необходимо вести исследование и разработку новых продуктов с целью создания универсальной и удобной системы управления проектами.

Microsoft Project. Программная система Microsoft Project — на сегодняшний день наиболее распространенная в мире система управления проектами, разработанная и продаваемая корпорацией Microsoft. MS Project позволяет получать информацию, управлять проектными работами, планами и финансами и сохранять согласованность работ при реализации проекта. Большим плюсом этой системы является ее интеграция с Microsoft Office, что значительно повышает ее производительность.

Под маркой Microsoft Project доступны сразу несколько продуктов и решений:

– *Microsoft Project Standard* — однопользовательская версия для небольших проектов;

– *Microsoft Project Professional* — корпоративная версия продукта, поддерживающая совместное управление проектами и ресурсами, а также управление портфелями проектов с помощью Microsoft Project Server;

– *Microsoft Project Web Access* — веб-интерфейс для отчетности о выполнении решаемых задач, а также просмотра портфелей проектов.

– *Microsoft Project Portfolio Server* — продукт для отбора проектов и их запуска на основе сбалансированных показателей, вошел в состав Microsoft Project Server с версии MS Project 2010.

Для управления корпоративными проектами у Microsoft существует программное решение *Microsoft Office Enterprise Project Management* (*EPM*) — комплексная среда управления совместными проектами и портфелями. Решение Office EPM позволяет расширить анализ и контроль всех выполняемых работ проекта благодаря оптимизации процессов принятия решений, повышению степени соответствия разработок стратегии развития бизнес-процессов, более обоснованному использованию ресурсов.

– ***Open Plan.*** Данная программная система управления проектами характеризуется мощными средствами ресурсного и бюджетного планирования, которые позволяют значительно облегчить нахождение наиболее эффективного распределения ресурсов и составления рабочего расписания их использования. Open Plan имеет мощные средства структуризации модели проекта, основанные:

– на иерархической структуре работ (Work Breakdown Structure);

– сеточной модели (PERT-диаграмма);

– иерархической структуре ресурсов;

– иерархической системе кодирования работ.

Open Plan позволяет управлять всеми видами ресурсов, а именно:

– возобновляемыми ресурсами (люди, оборудование);

– невозобновляемыми ресурсами (материалами), в том числе ресурсами с ограниченным сроком годности;

– финансами, которые описываются в ресурсном файле.

Primavera. Данное программное обеспечение предназначено для контроля при реализации и управления проектами, отслеживания ресурсов, материалов и оборудования, используемого при их реализации. Primavera разработана компанией Primavera Systems Inc., которая была куплена фирмой Oracle в 2008 г. Primavera в основном используется для обработки очень больших и сложных проектов, особенно в машиностроении и строительстве (например, при строительстве атомных электростанций).

Primavera предоставляет своим пользователям следующие возможности:

– выбор нужного сочетания стратегических проектов;

– обеспечение корпоративного управления проектом;

– улучшение процессов и методов реализации проектов;

– улучшение совместной работы проектов;

– измерение показателей реализации проектов при достижении целей;

– связь проектов со стратегией развития предприятия.

Данный программный продукт интересен при реализации сверхбольших проектов и разработке программных систем с очень высокими требованиями к проектному управлению.

Primavera Systems Inc. для построения интегрированной системы управления проектами предлагает на рынке несколько продуктов:

– *Sure Trek Project Manager* — для использования на низших уровнях управления;

– *Primavera Project Planner* (*P3*) — профессиональный программный пакет управления проектами для работы со сложными многоуровневыми проектами.

Отметим, что Primavera Project Planner — основной программный продукт линейки Primavera, хорошо известный во всем мире. Сегодня Primavera Project Planner используют для управления средними и крупными проектами в различных отраслях, хотя наибольшее распространение этот программный продукт получил в сфере управления строительными и инженерными проектами.

Методология данного программного решения подразумевает избыточные требования к формализации процессов (избыточные по сравнению с тем, что требуется большинству компаний в реальной практике). Использование Primavera Project Planner требует высокого уровня культуры управления проектами в компании (как правило, значительно выше того уровня, который сегодня встречается).

Spider Project. Программный продукт Spider Project отличается мощными алгоритмами планирования при использовании ограниченных ресурсов и большим количеством дополнительных функций. Данная программная система управления проектами спроектирована и разработана с учетом потребностей, особенностей и приоритетов российского рынка. Spider Project позволяет выполнять проекты быстрее, качественнее и с меньшими затратами, а также всегда иметь полную и разнообразную информацию о реализуемых проектах.

В Spider Project можно использовать неограниченное количество различных иерархических структур работ и ресурсов. Кроме того, можно создавать так называемые неполные структуры, которые не включают в себя все работы проекта.

Неполные структуры — удобный инструмент для подготовки отчетов и анализа отдельных аспектов проекта. Примером такой неполной структуры может быть структура поставок, в которую входят только те операции, которые отражают поставки материалов для проекта.

В Spider Project ресурсы разделяют на возобновляемые (люди, оборудование и др.) и невозобновляемые (материалы и др.), которые описываются отдельно. При этом можно дополнительно указывать, какие материалы используются как возобновляемые ресурсы, тогда, определив последние, можно автоматически предусмотреть использование необходимых материалов.

Наряду со стандартными графическими отчетами — диаграммой Ганта, сетевой диаграммой, диаграммами загрузки ресурсов, затрат материалов и графиками затрат по проекту и отдельными фазами, Spider Project предлагает пользователям ресурсную диаграмму Ганта и линейную диаграмму.

Сравнительная характеристика основных программных продуктов

Сравнительные характеристики программных продуктов Microsoft Project, Primavera и Spider в таблице.

Критерий оценки	Microsoft Project Professional	Primavera P3	Spider Project
Планирование процессами реализации проекта			
Интерфейс аналогичен MS Office	Да	Нет	Нет
Интерактивный самоучитель	Да	Нет	Нет
Трудоёмкость разработки структуры работ	Низкая	Высокая	Средняя
Более чем 1 связь между работами	Нет	Да	Нет
Планирование «от объёма»	Требуется знать методику использования	Нет	Да
Структура ресурсов	Да	Да	Да
Профили загрузки	Да	Да	Нет
Разделяемые пулы (управление ресурсами проектного подразделения в целом)	Да	Да	Нет
Управление портфелями проектов	Да	Да	Нет
Планирование затрат	Да	Да	Да
Сверхурочные затраты	Да	Да	Нет
Оценка влияния рисков через имитационное моделирование в форме «*а что если?*»	Да	Да	Нет
Анализ вероятности окончания проекта по заданным условиям	Нет	Нет	Да
Интерактивная оптимизация планов проекта	Да	Да	Нет
Автоматическая оптимизация без интерактивности	Да	Да	Да
Отслеживание реализации и управление проектом			
План	Да	Да	Да
Профессиональная проектная статистика на базе промышленного OLAP-сервера	Да	Нет	Нет
Автоматический запрос о статусе работы с исполнителем	Да	Да	Нет
Информирование о статусе работ топ-менеджеров	Да	Да	Нет
Отслеживание объёмов работ	Требуется знать методику использования	Нет	Да
Освоенный объём	Да	Да	Да
Коллективная работа			
Работа на основе промышленной СУБД (SQL Server)	Да	Да	Нет
Веб-доступ к проектной информации	Да	Да	Нет
Веб-анализ состояния ресурсов	Да	Да	Нет
Взаимодействие с исполнителями	Да	Да	Нет
Отслеживание запросов по контролю качества	Да	Нет	Нет
Интегрированная поддержка проектного документооборота	Да	Нет	Нет

Окончание таблицы

Критерий оценки	Microsoft Project Professional	Primavera P3	Spider Project
Поддержка высшего руководства			
Средства для информирования высшего управленческого звена	Да	Да	Нет
Средства для принятия стратегических решений топ-менеджерами	Да	Да	Нет

Заключение

Необходимо отметить, что все рассмотренные программные продукты близки по функциональным возможностям, но у каждого продукта есть свои особенности, которые отличают их друг от друга и дополняют.

В результате анализа функциональных возможностей рассмотренных в статье программных продуктов и опыта практической работы с ними можно сделать вывод, что их основным недостатком, наряду с высокой стоимостью и невозможностью поддержки облачных сервисов, является качество используемых в них алгоритмов оптимизации управления проектами. Также основным из минусов западных систем является отсутствие понятия «объём работ». Планирование осуществляется в терминах продолжительности операции. И если в одних типах проектов это не является серьезной проблемой, то в других, в частности, строительных, создание модели проекта без применения понятия «объем работ» — заведомое признание того, что модель имеет большие допущения.

Например, если рассматривать каждую строительную работу в отдельности, то у рассмотренных программных продуктов нет возможности произвести оптимизацию реализации проекта по нескольким критериям сразу. В этих продуктах возможна оценка и оптимизация только по одному, максимум двум параметрам, например, стоимости и времени для реализации проекта в целом. На основании проведенного анализа предполагается разработать программное решение, в котором будут реализованы сетевое моделирование строительных проектов и алгоритм, который сможет производить оценку данных, прогнозирование и оптимизацию управления реализацией строительных проектов сразу по трем параметрам — стоимости, времени и трудозатратам. Использование нескольких оценочных параметров одновременно поможет формировать оптимальные календарные планы при проведении строительных работ, что снизит стоимость, время- и трудозатраты при их реализации.

Библиографический список

1. Зуховицкий, С. И. Математические методы сетевого планирования / С. И. Зуховицкий, И. А. Радчик. М. : Наука, 1965.
2. Хемди, Т. А. Введение в исследование операций / Т. А. Хемди. М., 2005.
3. Буценко, Е. В. Методика оптимизации маркетинговой деятельности хозяйствующего субъекта на основе сетевого моделирования / Е. В. Буценко, А. Ф. Шориков // Социально-экономическое развитие России: возможности, проблемы, перспективы : материалы XXXI Междунар. науч.-практ. конф. Челябинск, 2014. С. 107–110.
4. Буценко, Е. В. Совершенствование модели инвестиционного проектирования на основе сетевого моделирования / Е. В. Буценко // Управленец. 2015. № 1 (53). С. 38–42.
5. Серов, В. М. Организация и управление в строительстве / В. М. Серов, Н. А. Нестерова, А. В. Серов. М., 2008.
6. Арчибальд, Р. Управление высокотехнологичными программами и проектами / Р. Арчибальд. М., 2010.
7. Мазур, И. И. Управление проектами : учеб. пособие / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро, Н. Г. Ольдерогге ; под общ. ред. И. И. Мазура. М., 2004.
8. Мазур, И. И. Управление инвестиционно-строительными проектами: международный подход : руководство / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро. М., 2004.
9. Gartner group [Электроный ресурс]. URL: http://www.gartner.com/technology/home.jsp

Сведения об авторах

Шориков Андрей Федорович — доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики Уральского энергетического института Уральского федерального университета, Екатеринбург. afshorikov@mail.ru

Султанахметов Дмитрий Рамилевич — аспирант кафедры прикладной математики Уральского федерального университета, Екатеринбург. dsultanakhmetov@ya.ru

A. F. Shorikov, D. R. Sultanahmetov

IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF MARKET REQUIREMENTS OF SOFTWARE MANAGEMENT TOOLS OF THE CONSTRUCTIONAL PROJECTS

The basic software products for management of construction projects are considered as well as their comparative characteristics are given. The weaknesses of their functionality and implementation for development of new optimization algorithms in this field are identified too.

ББК К314.16в635
УДК 621.7

М. И. Ячиков, И. М. Ячиков, М. А. Сичная

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ВНУТРЕННЕГО КРИСТАЛЛИЗАТОРА ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ ПЕЧИ

Рассмотрена конструкция кристаллизатора электрошлаковой печи для выплавки полых заготовок металлорежущих ножей, имеющего медный водоохлаждаемый дорн. Предложены варианты схемы охлаждения медного дорна. Создана математическая модель, предложен алгоритм расчета теплового состояния дорна при выбранных геометрических параметрах, заданном числе охлаждающих каналов и параметрах охлаждающей воды. Для внутреннего медного кристаллизатора диаметром 200 мм установлено, что стационарный тепловой режим наступает за время, не превышающее 5 мин. Установлено, что увеличение количества каналов при одинаковой суммарной площади их поперечного сечения приводит к уменьшению градиентов температуры и ее максимального значения во внутреннем кристаллизаторе. Посредством программного комплекса ANSYS проведено инженерное моделирование теплового состояния медного дорна предложенной конструкции при заданных параметрах водяного охлаждения. Расчеты подтвердили адекватность предложенной математической модели.

Введение

В любом металлургическом производстве образуется большое количество стального лома. Возникает проблема его переплавки и дальнейшего использования. Одной из разновидностей высоколегированного лома в прокатном производстве являются отходы, образующиеся при выходе из строя ножей для резки металла, причем основную долю составляют дисковые ножи [1]. Подходящим способом утилизации этих ножей является электрошлаковый переплав. Для переплава электрода, собранного из дисковых ножей, необходимо применить ЭШП с внутренним кристаллизатором.

В условиях ОАО «ММК-Метиз» (г. Магнитогорск) решено существующую печь ЭШП, позволяющую выплавлять слитки сплошного сечения, модернизировать, добавив в нее дорн для формирования полости в выплавляемой заготовке. Кроме того, предложено изменить конструкцию поддона, дополнив его отверстием, в которое в начале плавки вставляется дорн, имеющий форму усеченного конуса [7; 8]. Ось дорна совпадает с осью наружного кристаллизатора (рис. 1). При реализации данного технического решения встала проблема определения конструкции охлаждающих каналов, расположенных в медном дорне, и скорости подачи охлаждающей воды для съема заданных тепловых потоков. Необходимо, чтобы максимальная температура внутреннего кристаллизатора превышала температуру разупрочнения меди (~300 °С).

Целью работы является создание математической модели и программного обеспечения, позволяющие определять тепловое состояние дорна выбранной конструкции при заданных тепловых потоках, падающих со стороны кристаллизующегося металла в ЭШП, и известных условиях водяного охлаждения.

Математическая модель

В простейшем случае водяное охлаждение дорна может представлять собой n вертикальных каналов.

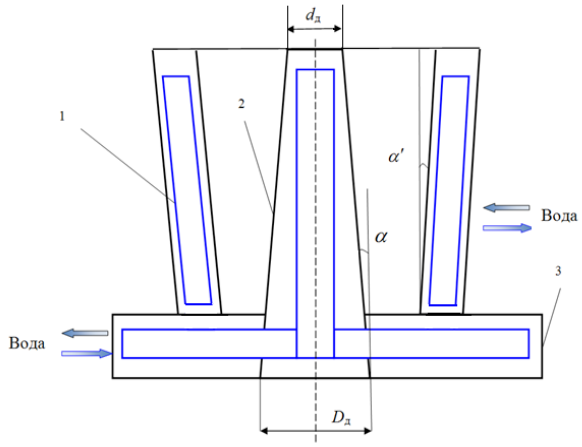


Рис. 1. Схема разъемного кристаллизатора для получения полых слитков:
1 — наружный кристаллизатор ЭШП;
2 — внутренний кристаллизатор ЭШП (дорн);
3 — поддон

С помощью горизонтальных полостей в верхней и нижней части кристаллизатора может быть организовано их соединение и подвод воды соответственно. Оси водяных каналов расположены на расстоянии r_k, причем центральный угол $\varphi_0 = 2\pi/n$ между соседними каналами одинаковый и диаметры всех каналов также одинаковые — $d_0 = 2r_0$ (рис. 2).

Введем цилиндрическую систему координат, ось O_z которой совместим с осью внутреннего кристаллизатора. При моделировании теплового состояния дорна приняты следующие допущения.

1. Считаем, что дорн имеет форму цилиндра диаметром $d = (D_д + d_д)$ или радиусом $R = d/2$. Это вполне допустимо, поскольку угол конуса цилиндра составляет $\alpha \approx 1{,}5°$ и $D_д \approx d_д$.

2. При определении теплового состояния дорна не учитывается охлаждающее действие горизонталь-

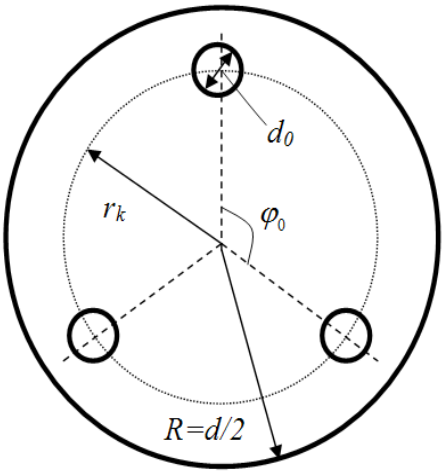


Рис. 2. Расположение вертикальных водяных каналов на горизонтальном сечении дорна при n = 3

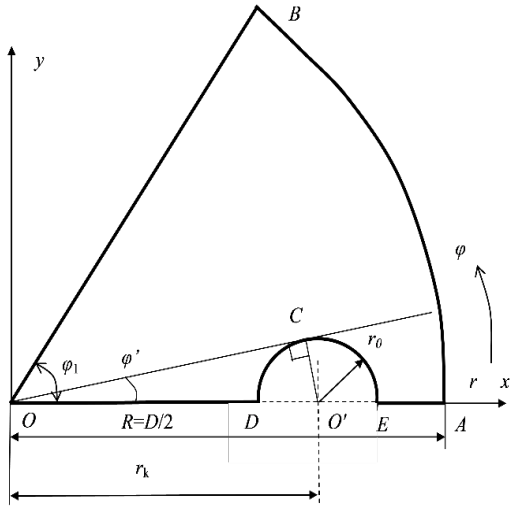


Рис. 3. Рабочая расчетная область и ее основные размеры

ных полостей в верхней и нижней части кристаллизатора.

3. Тепловые процессы имеют зеркальную симметрию. При повороте на угол φ_0 относительно оси O_z объект остается неизменным. Мы имеем n вертикальных плоскостей симметрии, проходящих через ось дорна и оси каналов, и n вертикальных плоскостей симметрии, проходящих через прямую $\varphi_1 = 2\pi(i-1)/n + \varphi_0/2 = \pi(2i-1)/n$, где $i = 1, 2, ..., n$.

4. Градиенты температур в направлении O_z существенно меньше, чем в радиальном и азимутальном направлениях ($\partial T/\partial z << \partial T/\partial r$, $\partial T/\partial z << \partial T/\partial\varphi$), то есть в рассматриваемой задаче будем принимать $\partial T/\partial z = 0$. Данное допущение не совсем правомерно, поскольку тепловой поток от затвердевающего металла, падающий на кристаллизатор, существенно меняется по его высоте. Однако нас интересует режим теплового состояния дорна в местах максимальных тепловых нагрузок. Для такой задачи принятое допущение является даже более жестким.

5. Считаем, что движение воды в каналах турбулентное (Re > 10 000), без кипения и теплофизические свойства медной стенки кристаллизатора есть величины постоянные.

С учетом основных допущений и ограничений рабочая область, используемая в расчете, представляет сектор с углом φ_1. На рис. 3 приведены обозначения основных геометрических параметров.

Температурное поле в рабочей области описывается уравнением теплопроводности:

$$c\rho\frac{\partial T}{\partial\tau} = \lambda\cdot\left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 T}{\partial\varphi^2}\right), \qquad (1)$$

при $\tau > 0$, $0 < r < R$, $0 < \varphi < \varphi_1$, где T — температура; τ — время, λ, c, ρ — теплопроводность, удельная теплоемкость и плотность материала дорна соответственно.

Для решения дифференциального уравнения (1) необходимо дополнить его краевыми условиями. Начальные условия определяет распределение температур в начальный момент времени:

$$T(r,\ \varphi,\ 0) = T_0. \qquad (2)$$

Граничные условия. На оси симметрии OB ($\varphi = \varphi_1$, $r = [0, R]$):

$$\frac{\partial T}{\partial\varphi} = 0. \qquad (3)$$

На оси симметрии OA ($\varphi = 0$, $r = [0, r_k - r_0]$ и $r = [r_k + r_0,\ R]$):

$$\frac{\partial T}{\partial\varphi} = 0. \qquad (4)$$

На границе кристаллизатора с затвердевающим металлом ($\varphi = [0,\ \varphi_1]$, $r = R$)

$$-\lambda\frac{\partial T(r,\varphi)}{\partial r} = q, \qquad (5)$$

где q — тепловой поток на рабочую поверхность кристаллизатора.

Границу водяного канала в декартовой системе координат xOy (см. рис. 3) можно определить как $y(x) = \sqrt{r_0^2 - (x - r_k)^2}$. Формулы для перехода в полярную систему координат $x = r\cdot\cos\varphi$ и $y = r\cdot\sin\varphi$ приводят к квадратному уравнению $r^2 - 2rr_k\cdot\cos\varphi + (r_k^2 - r_0^2) = 0$, при решении которого получается: *радиальная координата границы водяного канала:*

$$R_\Gamma(\varphi) = r_k\cdot\cos\varphi \pm \sqrt{r_0^2 + r_k^2\left(\cos^2\varphi - 1\right)}, \qquad (6)$$

где $\varphi = [0,\ \varphi']$, $\varphi' = arctg\dfrac{r_0}{\sqrt{r_k^2 - r_0^2}}$, $r_k > r_0$ или $\varphi' = ar\sin\dfrac{r_0}{r_k}$;

и *азимутальная координата водяного канала:*

$$\Phi_\Gamma(r) = \arccos\left(\frac{r^2 + r_k^2 - r_0^2}{2r \cdot r_k}\right),$$

где $r = \left[r_k - r_0, r_k + r_0\right]$.

На поверхностях водяного канала имеем граничное условие 3-го рода:

$$-\lambda \frac{\partial T(r,\phi)}{\partial n} = q_{ж} = \alpha_{ж}(t_{ж} - T_c(r,\phi)). \qquad (7)$$

Вектор теплового потока $\vec{q}_ж$, отбираемого жидкостью, направлен перпендикулярно поверхности канала, как это показано на рис. 4. Радиальную и азимутальную проекции этого вектора можно записать как $q_{ж\,r} = q_{ж}\cos\beta$, $q_{ж\,\varphi} = q_{ж}\sin\beta$.

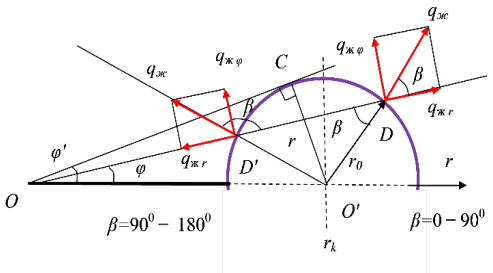


Рис. 4. К определению теплового потока с поверхности охлаждающих каналов

Угол β между полярной осью *Or* и вектором *O'D* (или *O'D'*) определяется по теореме синусов: $\beta(\varphi) = \arcsin\left(\frac{r_k}{r_0}\sin\varphi\right)$ или по теореме косинусов:

$$\beta(r) = \arccos\frac{r_0^2 - r_k^2 + r^2}{2r \cdot r_0}. \qquad (8)$$

Коэффициент теплоотдачи с внутренней поверхности канала определяется по формуле Михеева:

$$Nu = \frac{\alpha_{ж} d_0}{\lambda_{ж}} = 0{,}021\,\mathrm{Re}^{0{,}8}\,\mathrm{Pr}_{ж}^{\,0{,}43}(\mathrm{Pr}_{ж}/\mathrm{Pr}_c)^{0{,}25}, \qquad (9)$$

где $\mathrm{Re} = W_{ж} \cdot d_0 / \nu_{ж}$ — число Рейнольдса; $W_ж$ — скорость воды в водяном канале; ж, с — индексы для числа Pr, относящиеся к температуре жидкости и стенки соответственно; $\lambda_ж$, $\nu_ж$ — средние коэффициенты теплопроводности и кинематической вязкости воды соответственно. Число Pr для воды на линии насыщения существенно меняется от температуры и в диапазоне от 10 до 210 °C может быть представлено зависимостью

$$\mathrm{Pr}(t) = 89{,}666t^{-0{,}8563}. \qquad (10)$$

Для решения рассмотренной краевой задачи (1) (10) использовали конечно-разностный метод. Непрерывную температуру $T(r, \varphi, \tau)$ заменяем на сеточную функцию $T_{i,j}^k$. На расчетную рабочую область накладывается равномерная сетка. Для решения уравнения (1) использовалась локально-одномерная схема расщепления по координатам переменных направлений [3; 4; 7–9]. Схема безусловно устойчива, она сходится со скоростью $O(\Delta r^2 + \Delta\varphi^2 + \tau^2)$. В результате получили две системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) в виде трехдиагональной матрицы:

$$A_1 \cdot T_{i-1}^{k+\frac{1}{2}} - B_1 \cdot T_i^{k+\frac{1}{2}} + C_1 \cdot T_{i-1}^{k+\frac{1}{2}} = D_1, \qquad (11)$$

где $A_1 = \left(Fo - \frac{Fo}{2 \cdot i}\right)$; $B_1 = (1 + 2 \cdot Fo)$; $A_1 = \left(Fo + \frac{Fo}{2 \cdot i}\right)$;

$$D_1 = -T_{ij}^k - Fo_i\left(T_{i,j+1}^k + T_{i,j-1}^k - 2 \cdot T_{i,j}^k\right),$$

$$Fo = \frac{a \cdot \Delta\tau}{2 \cdot \Delta r^2}, \quad Fo_i = \frac{a \cdot \Delta\tau}{2\Delta r^2 \cdot \Delta\varphi^2 \cdot i^2};$$

$$A_2 \cdot T_{j-1}^{k+1} - B_2 \cdot T_j^{k+1} + C_2 \cdot T_{j+1}^{k+1} = D_2, \qquad (12)$$

где $A_2 = Fo_i$; $B_2 = (1 + 2 \cdot Fo_i)$; $C_2 = Fo_i$; Δr, $\Delta\varphi$, $\Delta\tau$ — шаги по координатам и времени; a — коэффициент температуропроводности материала стенки.

$$D_2 = -T_{ij}^{k+\frac{1}{2}} - Fo \times$$

$$\times\left(T_{i+1,j}^{k+\frac{1}{2}}\left(1 + \frac{1}{2i}\right) + T_{i-1,j}^{k+\frac{1}{2}}\left(1 - \frac{1}{2i}\right) - 2 \cdot T_{i,j}^{k+\frac{1}{2}}\right).$$

Полученные СЛАУ последовательно решались методом прогонки. Граничные условия в разностном виде записывались применительно к методу прогонки с использованием рекомендаций [5; 6].

По рассмотренной модели и описанным алгоритмам в среде Matlab создана компьютерная программа, позволяющая проводить моделирование теплового состояния дорна и выбирать рациональные параметры его конструкции и режимов водяного охлаждения.

Результаты моделирования

Проведено моделирование теплового состояния медного дорна диаметром 200 мм с четырьмя или шестью вертикальными каналами, причем суммарная площадь поперечного сечения каналов для обоих случаев одинакова. Диаметры каналов составляли 40 и 32,6 мм соответственно, расстояние от оси дорна до осей каналов r_k = 60 мм. Расчет проводили при тепловом потоке на рабочую поверхность кристаллизатора 0,5 МВт/м² и скорости воды в каналах $W_в$ = 5 м/с. При этих условиях охлаждения коэффициент теплоотдачи с поверхности каналов составил $\alpha_ж$ = 15 000...17 000 Вт/(м²град).

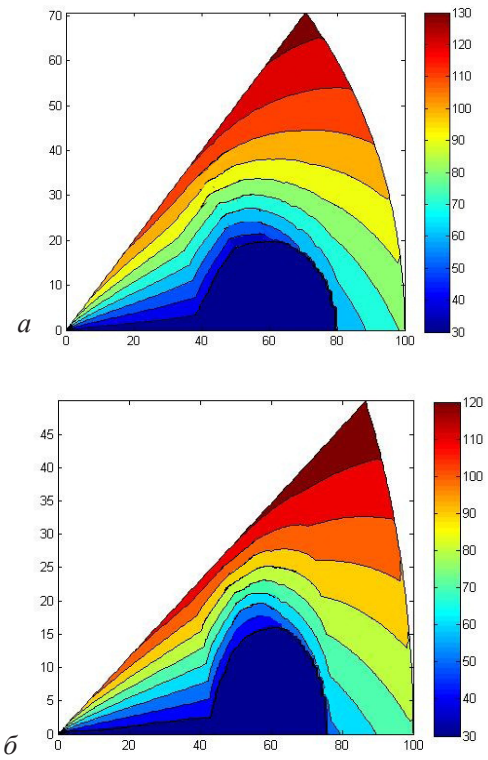


Рис. 5. Установившееся распределение температуры в водоохлаждаемом дорне, имеющем n = 4 (а) и n = 6 (б) каналов

На основе проведенного моделирования было установлено, что от начала нагрева внутреннего кристаллизатора стационарный процесс с точностью 0,03 град/с наступает за время не более 5 мин. На рис. 5 приведены результаты моделирования температурных полей при $n = 4$ и $n = 6$. Видно, что максимальная температура дорна наблюдается на его поверхности в точке B, минимальная на оси *EA* (см. рис. 3).

С увеличением количества каналов с 4 до 6 при одинаковой суммарной площади их поперечного сечения угол φ_1 уменьшается с 45 до 30°. Уменьшение расстояния между каналами приводит к снижению градиентов температуры и ее максимального значения во внутреннем кристаллизаторе.

Для проверки адекватности созданных математической и компьютерной моделей проведен температурный анализ рассмотренной конструкции охлаждающих водяных каналов с использованием CAE-системы ANSYS 14.5. Расчет проводился для тех же геометрических параметров при $\alpha_ж = 17\,000$ Вт/(м^{2}град) и тепловом потоке на рабочую поверхность кристаллизатора 0,3 и 0,5 МВт/м^2. Результаты моделирования представлены на рис. 6. Установлено, что зависимость снимаемого теплового потока и максимальной температуры нелинейная, так при уменьшении теплового потока в 1,67 раза максимальная температура снижается в 1,43 раза. Кроме этого, проведенное моделирование подтвердило адекватность

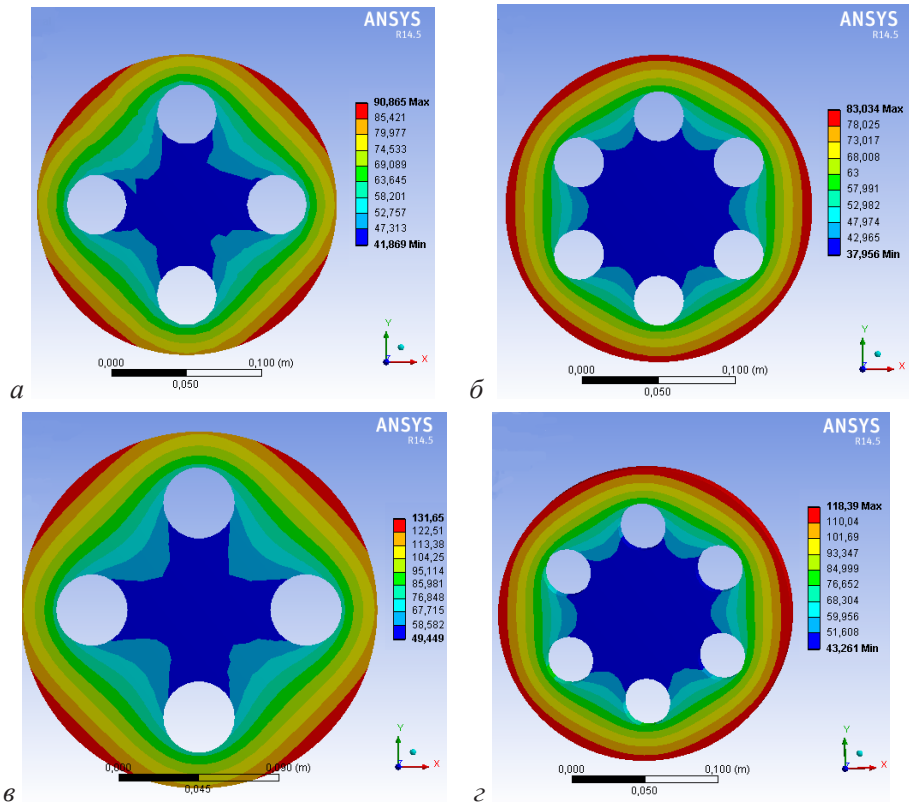


Рис. 6. Моделирование температурных полей с использованием системы ANSYS при разном числе каналов и тепловом потоке, падающем на кристаллизатор: а) n = 4, q = 0,3 МВт/м^2; б) n = 6, q = 0,3 МВт/м^2, в) n = 4, q = 0,5 МВт/м^2, г) n = 6, q = 0,5 МВт/м^2

предложенных математической и компьютерной моделей. Видно также, что при рассмотренных условиях охлаждения максимальная температура существенно ниже температуры разупрочнения меди.

Заключение

1. Предложена математическая модель и создана компьютерная программа, позволяющая проводить моделирование теплового состояния внутреннего кристаллизатора с произвольным числом вертикальных каналов.

2. Установлено, что стационарный тепловой режим дорна наступает за время, не превышающее 5 минут.

3. Получено, что увеличение количества каналов при одинаковой суммарной площади их поперечного сечения приводит к уменьшению градиентов температуры и ее максимального значения во внутреннем кристаллизаторе.

4. Посредством программного комплекса ANSYS проведено инженерное моделирование теплового состояния медного дорна предложенной конструкции при заданных параметрах водяного охлаждения. Расчеты подтвердили адекватность предложенных математической и компьютерной моделей.

5. Созданные компьютерные продукты использовались при проектировании дорна печи ЭШП для предприятия ОАО «ММК-Метиз». Они также могут быть полезны научным и проектным организациям, занимающимся конструированием водяного охлаждения внутреннего кристаллизатора.

Библиографический список

1. Ячиков, И. М. Математическая модель тепловой работы элементов установки ЭШП для получения полых слитков / И. М. Ячиков, М. И. Ячиков, М. А. Сичная // Інформатика, управління та штучний інтелект: тезиси науково-технічної конференції студентів, магістрів та аспірантів. Харків, 2014. С. 96.

2. Электрошлаковые печи / под ред. Б. Е. Патона. Киев : Наукова думка, 1976. 414 с.

3. Яненко, Н. Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики / Н. Н. Яненко. Новосибирск : Наука, 1967.

4. Турчак, Л. И. Основы численных методов / Л. И. Турчак, П. В. Плотников. М. : Физматлит, 2002. 304 с.

5. Кузьмин, Н. А. Выбор граничных условий для моделирования / Н. А. Кузьмин, И. О. Донато // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. 2011. № 1 (86). С. 138.

6. Кузнецов, Г. В. Разностные методы решения задач теплопроводности : учеб. пособие / Г. В. Кузнецов, М. А. Шеремет. Томск : Изд-во ТПУ, 2007. 172 с.

7. Сичная, М. А. Существующие конструкторские решения установок ЭШП для получения полых слитков из нержавеющей стали / М. А. Сичная, М. И. Ячиков // Наука и образование в жизни современного общества : сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф., 30 дек. 2014 г. : в 12 ч. Ч. 12. Тамбов, 2015. С. 93–94.

8. Сичная, М. А. Математическая модель теплового состояния внутреннего кристаллизатора ЭШП / М. А. Сичная, М. И. Ячиков, И. М. Ячиков, К. Н. Вдовин // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве : сб. докл. IV Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. Екатеринбург : УрФУ, 2015. С. 123–127.

9. Сичная, М. А. Математическая модель теплового состояния дорна кристаллизатора ЭШП и алгоритмы численного решения / М. А. Сичная, И. М. Ячиков // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2015. Т. 2, № 1. С. 138–142.

Сведения об авторах

Ячиков Матвей Игоревич — аспирант кафедры литейного производства и материаловедения Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. mat-yachikov@yandex.ru

Ячиков Игорь Михайлович — доктор технических наук, профессор кафедры вычислительной техники и программирования Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. jachikov@mail.ru

Сичная Мария Александровна — магистрант кафедры вычислительной техники и программирования Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. simaa1992@mail.ru

---

M. I. Yachikov, I. M. Yachikov, M. A. Sichnaya

SIMULATION OF THERMAL STATE OF INTERNAL CRYSTALLIZER ELECTROSLAG FURNACE

The design of the mold electroslag furnace smelting hollow billets of metal blades having a water-cooled copper mandrel. The variants of the cooling circuit of the copper mandrel. A mathematical model, an algorithm for calculating the thermal state of the mandrel at the chosen geometrical parameters, a given number of cooling channels and the parameters of the cooling water. For copper inner mold 200 mm in diameter revealed that the stationary thermal mode occurs during

the time not exceeding 5 minutes. It was establish that the increase in the number of channels with the same total area of their cross section, leads to a reduction of temperature gradients, and its maximum value in an internal mold. Through ANSYS engineering simulation conducted the thermal state of the copper mandrel proposed design for the given parameters of the cooling water. Calculations confirmed the adequacy of the proposed mathematical and computer models.

Научное электронное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

Труды Пятой Международной научной конференции

Банное, Россия, 24–28 февраля 2016 года

Редактор *М. В. Трифонова*
Верстка и подготовка электронного издания *М. В. Трифоновой*

Подписано к использованию 15.03.16.
Уч.-изд. л. 37,4. Заказ 14. Тираж 100 экз.

Челябинский государственный университет
454001 Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129

Издательство Челябинского государственного университета
454021 Челябинск, ул. Молодогвардейцев, 57б